

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de
INGENIEROS MECÁNICOS

TEMA
CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO MOLIDO DE HUESO DE RES
CALCINADO PARA SU UTILIZACIÓN COMO ABONO ORGÁNICO

AUTORES
GUALLICHICO GUANOTOA CARLOS SANTIAGO
CABRERA CONTENTO FREDDY PAUL

TUTOR
ING. QUITIAQUEZ SARZOSA RENE PATRICIO

Quito, febrero 2017

Cesión de derechos de autor

Nosotros, Guallichico Guanotoa Carlos Santiago, con documento de identificación N° 1721858353 y Cabrera Contento Freddy Paul, con documento de identificación N° 1725555690, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación : “CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO MOLIDO DE HUESO DE RES CALCINADO PARA SU UTILIZACIÓN COMO ABONO ORGÁNICO”, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el Título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Guallichico Guanotoa Carlos Santiago
CI: 1721858353



Cabrera Contento Freddy Paul
CI: 1725555690

Quito, febrero 2017.

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación, CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO MOLIDO DE HUESO DE RES CALCINADO PARA SU UTILIZACIÓN COMO ABONO ORGÁNICO realizado por Guallichico Guanotoa Carlos Santiago y Cabrera Contento Freddy Paul, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como Trabajo Final de Titulación.



Ing. Quitiaquez Sarzosa René Patricio

CI: 1710597269

Quito, febrero 2017

DEDICATORIA

Este Proyecto de Titulación va dedicado a Dios y a mis padres. A Dios porque está conmigo a cada paso que doy; a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, siendo mi apoyo y pilar fundamental en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto de mi vida, sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

Guallichico Guanotoa Carlos Santiago

El presente Trabajo de Titulación va dedicado a mis familiares por la consagración y esfuerzo que realizaron para que hoy haya alcanzado esta meta; por su apoyo incondicional, por sus consejos y por aquellas palabras de aliento que supieron brindarme cuando sentía que no podía seguir adelante.

Cabrera Contento Freddy Paul

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos guiado por el camino de la felicidad dándonos fortaleza para continuar los estudios; y a nuestros padres y familiares, quienes a lo largo de toda nuestras vidas han apoyado y motivado nuestra formación académica.

Un eterno agradecimiento a la prestigiosa Universidad Politécnica Salesiana que nos preparó para un futuro competitivo brindándonos una profesión técnica de calidad.

A nuestro querido tutor, el Ingeniero Quitiaquez Sarzosa Rene Patricio, quien nos ayudó con su experiencia y con su gran compromiso para la culminación de este trabajo.

A la Parroquia de Nono y a la Comunidad de Alambí, la cual nos permitió realizar nuestro trabajo en tan dichoso lugar, en especial el señor Víctor Hipo quien nos ayudó con su información para llegar a la culminación del trabajo.

Agradecemos a todos los que hicieron posible este Trabajo de Titulación.

Muchas gracias!

Carlos Santiago Guallichico – Freddy Paul Cabrera

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	2
1.1. Abonos orgánicos	2
1.2. Definición hueso de res y hueso de res calcinado	3
1.3. Definición y usos de la harina de hueso calcinado de res	4
1.4. Soluciones para la trituración del hueso calcinado de res	5
1.5. Tipos de molinos existentes.....	5
1.5.1. Molino de rodillos	5
1.5.2. Molino de martillo o de impacto.....	6
1.5.3. Molino de bolas.....	8
1.6. Análisis de alternativas.....	8
1.6.1. Capacidad de producción	9
1.6.2. Comodidad de operación.....	9
1.6.3. Facilidad de construcción.....	9
1.6.4. Costos de construcción.....	9
1.6.5. Seguridad.....	10
1.6.6. Facilidad de mantenimiento	10
1.7. Selección de la alternativa más conveniente para el caso de estudio	10
1.7.1. Ventajas y desventajas del uso de un molino de martillos	11
1.8. Principios para la selección de un molino de martillos	12
1.8.1 Molturabilidad de un molino	13
1.9. Funcionamiento del molino de martillos	14
1.10. Elementos de diseño para un molino de martillos	16
1.11. Formulación para el diseño del molino de martillos.....	16
- Diseño de martillos.....	16
- Diseño de los ejes porta martillos.....	20
- Diseño del eje principal	21
- Diseño de los discos	23
- Selección del motor	24
- Selección de bandas y poleas	28
- Potencia de diseño	28
- Relación de velocidad.....	28
- Distancia entre centros	28

CAPÍTULO II	29
2. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL MOLINO	29
2.1. Determinación de la molturabilidad	29
2.2. Diseño de las dimensiones de los martillos.....	30
- Velocidad tangencial al extremo del martillo.....	32
2.2.1. Cálculo de la Resistencia del martillo.....	33
2.3. Diseño de los ejes porta martillos.....	36
- Análisis estático del eje porta martillo.	37
2.4. Diseño de los discos porta martillos.....	40
2.5. Diseño del eje principal	42
2.6. Cálculo de la potencia del motor	44
- Determinación de la velocidad del motor.....	44
- Potencia de molienda.....	45
- Potencia del molino	45
2.7. Selección de bandas y poleas	46
- Potencia de diseño	46
- Tipo de correa.....	46
- Relación de velocidad.....	47
- Selección de la polea motriz.....	47
- Distancia entre centros	48
- Selección de la chaveta.....	48
2.8. Diseño de la tolva de entrada.....	49
2.8.1. Análisis de elementos finitos de la tolva de entrada.	51
- Tensión de von Mises.....	51
2.9. Diseño del bastidor	51
2.9.1. Análisis de elementos finitos del bastidor.....	53
- Tensión de von Mises.....	53
2.10. Diseño de la base del molino	53
2.11. Análisis de elementos finitos de la base del molino	55
- Tensión de von Mises.....	55
2.12. Diseño del bastidor.	55
2.13. Análisis de resultados y estadístico de la molienda.....	56
2.13.1. Tabla general	56
CAPÍTULO III.....	61

3. ANÁLISIS DE COSTOS Y MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	61
3.1. Análisis de costo.....	61
3.2. Costos de elementos normalizados.....	62
3.3. Tiempo de utilización de las maquinas.	63
3.4. Costos de maquinado.....	65
3.5. Costos de indirectos.....	65
3.5.1. Costos de diseño.....	65
3.5.2. Gastos provisionales.....	65
3.6. Costo total de la máquina	66
INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.	67
Instrucciones de seguridad.	68
a. Operación de la máquina.....	68
b. Montaje del cuerpo del mecanismo.....	69
c. Montaje de la cámara del triturador	69
d. Montaje del motor.....	69
e. Montaje de la tolva.....	70
f. Modo de utilización.....	70
g. Alimentación de materia prima.....	70
Mantenimiento de la máquina	70
a. Mantenimiento de correas.	70
b. Mantenimiento de chumaceras	71
c. Mantenimiento del motor.	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
Bibliografía	74
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
PLANOS	¡Error! Marcador no definido.

Índice de figuras

Figura 1: Molino de rodillos.	6
Figura 2: Molino de martillos utilizado en la industria de reciclaje.	7
Figura 3: Molino de bolas convencional.....	8
Figura 4: Partes de un molino de martillos tradicional.	15
Figura 5: Trabajo que realiza el martillo al chocar con el producto.	18
Figura 6: Vista frontal del martillo.	34
Figura 7: Diagrama del cuerpo libre del eje porta martillos.	37
Figura 8: Reacciones en los apoyos del eje porta martillos.	37
Figura 9: Reacción en los apoyos con carga puntual.....	38
Figura 10: Momentos flectores y cortantes del perno porta martillos.	39
Figura 11: Diagrama de cargas externas del eje principal.	42
Figura 12: Diagrama de momentos flectores en los planos xy, xz.	42
Figura 13: Diagrama del momento torsor en el disco.....	43
Figura 14: Potencia de diseño y revoluciones del motor.	46
Figura 15: Revoluciones del motor y diámetro de polea motriz.....	47
Figura 16: Selección de la chaveta para eje de 2".	48
Figura 17: Tolva de entrada con su ángulo de inclinación.	49
Figura 18: Tabla de resultados de huesos.	50
Figura 19: Análisis de tolva de entrada.	51
Figura 20: Bastidor de acuerdo al número de elementos.....	52
Figura 21: Análisis con cargas en el bastidor.	53
Figura 22: Análisis de cargas en la base del molino.....	55
Figura 23: Temperatura de calcinación de muestras tomadas en Alambí.	57
Figura 24: Relación de los parámetros TC vs TR.....	57
Figura 25: Variación de volumen inicial vs Volumen molido.....	58
Figura 26: Muestra de Temperatura vs Tiempo.....	59
Figura 27: Muestra calcinada a 320°C donada por la parroquia de Alambí. ...	¡Error! Marcador no definido.
Figura 28: Muestra calcinada a 410°C, donadas por la parroquia de Alambí.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 29: Muestra calcinada a 500°C, donadas por la parroquia de Alambí.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 30: Muestra molida a 500°C en 4 min.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 31: Producto con el tamaño ideal.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 32: Desperdicio de hueso.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 33: Vista frontal de molino de martillos.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 34: Vista lateral del molino de martillos.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 35: Ubicación de tablero eléctrico.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 36: Vista trasera del molino de martillos.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de tablas

Tabla 1. Hueso calcinado en la escala 2 de dureza Mohs.	4
Tabla 2. Comparación de alternativas.	11
Tabla 3. Índices de trabajo para diferentes materiales.	26
Tabla 4. Tabla de pesos que soporta el bastidor.	52
Tabla 5. Tabla de pesos y cargas que va a soportar la base del molino.	54
Tabla 6. Parámetros estadísticos.	56
Tabla 7. Costo de materia prima para la construcción de la máquina.	62
Tabla 8. Costos de elementos normalizados.	63
Tabla 9. Tiempo utilizado por elemento a fabricar.	64
Tabla 10. Costo de equipos por hora.	65
Tabla 11. Costo total.	66

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es el diseño, fabricación y evaluación de un molino de martillos que se utilizará para la trituración de hueso de res calcinado, analizando las características del material producido que se utilizará como abono orgánico aumentando el contenido nutricional del terreno para el crecimiento de diferentes cultivos.

El pequeño molino de martillos es diseñado y construido con materiales disponibles localmente. Se evalúa el funcionamiento del molino y la acción del abono orgánico en tierras cultivables de la Comunidad de Alambí, Parroquia Nono en la Provincia de Pichincha.

El análisis desarrollado en el presente trabajo ayuda a evaluar el tamaño de partícula ideal para realizar el abono y mejorar la capacidad productiva de los terrenos. Además con la construcción del molino se podrá optimizar el tiempo y la mano de obra utilizada en la elaboración del abono.

Palabras claves: producto, molido, hueso de res, calcinado, abono, orgánico

ABSTRACT

The objective of this research is the design, manufacture and evaluation of a hammer mill that will be used for the grinding of calcined beef bone, analyzing the characteristics of the material produced that will be used as organic fertilizer increasing the nutritional content of the soil for growth Of different crops.

The small hammer mill is designed and built with locally available materials. It evaluates the operation of the mill and the action of organic fertilizer on arable land of the community of Alambí, Parish Nono in the Province of Pichincha.

The analysis developed in the present work helps to evaluate the ideal particle size for fertilization and to improve the productive capacity of the land. In addition with the construction of the mill it will be possible to optimize the time and the labor used in the elaboration of the fertilizer.

Keywords: product, ground, bone of beef, calcined, fertilizer, organic

INTRODUCCIÓN

En la sociedad moderna se presentan serios problemas en la gestión de los residuos sólidos. La creciente producción de residuos compromete la disponibilidad de superficies de vertido capaces de concentrar los crecientes volúmenes de material y en condiciones ambientales aceptables. La industria cárnica suele tener un número elevado de desechos (huesos, vísceras, sangre, pelo, piel, entre otros), y éstos causan diversos impactos ambientales (Getty, 1999).

La acumulación de los desechos en botaderos de basura, incineración, entierro y abandono de los subproductos cárnicos son frecuentemente las opciones de desecho aplicables de acuerdo con la ubicación geográfica y regulaciones a las que se encuentran las industrias procesadoras de carne y camales, que puede convertirse en un peligro biológico substancial que amenaza al medio ambiente, la salud humana y animal. Hamilton, 2006, citado en (Ramos Carrillo, 2010)

Los desechos cárnicos contienen nutrientes que se pueden aprovechar mediante su transformación en harinas. Esta alternativa segura, responsable y de alto valor económico presenta ventajas como el procesamiento inmediato de los subproductos para evitar su descomposición prematura, reducción del volumen de basura, disminución de la contaminación ambiental y el riesgo de enfermedades. Hamilton 2006, citado en (Ramos Carrillo, 2010).

La harina de huesos es un abono orgánico clásico rico en fósforo y calcio, aunque los mejores resultados se logran usando la harina de huesos junto con otros abonos, su contenido en cal ayuda a reducir la acidez de la tierra (Sánchez Reyes , 2003).

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el presente capítulo se precisan elementos teóricos que sustentan la investigación y el desarrollo del tema propuesto, a través del estudio y análisis de soluciones existentes. Se tratan las principales definiciones relacionadas con el hueso calcinado de res y su empleo como abono orgánico. Se describen los tipos de molinos existentes y se fundamenta la utilización para el presente proyecto de un molino de martillos.

1.1. Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se crea de restos animales y vegetales en putrefacción, su integración al suelo mejora las características físicas del mismo como la soltura, porosidad, cohesión, retención de humedad, nutrientes. (Rodriguez Sandoval, 1994)

En la actualidad existen algunos tipos de abonos orgánicos como el estiércol, el humus de gusanos, el polvo de huesos y de sangre, etc., funcionan muy bien para aumentar el contenido nutritivo de la tierra, pero los nutrientes deben estar disponibles en distintas proporciones. (Través Soler, 1962)

La harina de huesos es un abono rico en fósforo y nitrógeno. La edad y el tipo definen el volumen de nutrientes, siendo que los más viejos contienen más fósforo que los jóvenes. Los resultados se logran utilizando harina de hueso unido a otros abonos. (Través Soler, 1962)

1.2. Definición hueso de res y hueso de res calcinado

Los huesos sirven como armadura del cuerpo y las palancas para los músculos y los ligamentos, asimismo proporcionan protección a ciertas vísceras en los mamíferos, por ejemplo el corazón, pulmones, encéfalo y médula espinal. Los huesos almacenan minerales, fundamentalmente calcio y fósforo. (Getty, 1999, p. 99)

Un hueso fresco tiene un color blanco amarillento, cuando se macera o hierve se hace más blanco. La gravedad específica del hueso fresco es de alrededor de 1,9. Es muy duro y resistente a la presión. Su dureza de compresión es aproximadamente de 1400 Kg/cm² y su dureza de tensión 1054 Kg/cm², mucho más alta que la del roble. (Getty, 1999, p. 98)

La calcinación del hueso se logra exponiéndolo a la acción directa del fuego por debajo del punto de desintegración total, donde se expulsa la materia volátil en forma de humedad. En este proceso el hueso toma una coloración de gris a blanca y pasa a ser frágil, lo que lo convierte en un producto óptimo para ser triturado de forma mecánica ya que se descompone rápidamente y los nutrientes se mantienen disponibles. (Través Soler, 1962, p. 102)

Además es importante destacar que es recomendable la calcinación del hueso para evitar contaminaciones por enfermedades que pudiera contener.

En experimentos donde al hueso se le ha visto como materia prima para transformarlo en objetos de adorno, herramientas u otros productos, se obtuvo que su dureza en la escala de Mohs es la siguiente: (Dureza del hueso en la escala de Mohs, 2011)

- El hueso fresco (recién retirada la carne) está en la escala de 2.5.
- El hueso hervido (en agua corriente) está en 3.

- El hueso quemado con coloración marrón o negra en superficie es de 2.5.
- El hueso calcinado con coloración gris a blanco, está en 2.
- El hueso incinerado está en 1.

Tabla 1. Hueso calcinado en la escala 2 de dureza Mohs

Escala Mohs	Ejemplo	Descripción
5	Apatita	Acerca de la dureza de los dientes
4	Fluorita	No se puede rayar con un clavo
3	Calcita	Difícil de rayar con un clavo
2	Yeso	Raya fácilmente con la uña
1	Talco	Muy suave, similar a la tiza

Nota: de acuerdo a la escala de Mohs estás son los materiales que se pueden asimilar con el hueso de res calcinado.

Fuente: (Dureza del hueso en la escala de Mohs, 2011)

1.3. Definición y usos de la harina de hueso calcinado de res

La harina de huesos calcinado se hace con huesos frescos que se calcinan para extraerles las grasas y la humedad. El tratamiento causa una pequeña pérdida de nitrógeno y un incremento del fósforo (Través Soler, 1962)

La harina de huesos es rica en fósforo (P), magnesio (Mg) y calcio (Ca), es útil para disminuir la concentración de elementos tales como aluminio, arsénico, cadmio, cromo, hierro, plomo y zinc en efluentes. Se lo emplea también para disminuir el contenido de fluoruros en el agua de valores de 1 hasta 10 ppm iniciales, con concentraciones mayores hasta la última hay que hacer un pre tratamiento. (Través Soler, 1962)

La harina de hueso también es utilizada como abono orgánico porque es muy eficiente para generar bajos niveles de barros y no usa ácido fosfórico. (Través Soler, 1962)

El abono de harina es polvo hecho de huesos de animales, en el proceso de calcinado que se utiliza para producir la harina de hueso se mata cualquier tipo de agentes patógenos. El fósforo es esencial para las plantas y es fácil para que las mismas absorberlo. El uso de harina las ayudará a crecer más grandes y abundantes.

1.4. Soluciones para la trituración del hueso calcinado de res

En el proceso de trituración se utiliza a nivel internacional los molinos mecánicos, donde la materia prima se introduce como alimentación de la máquina y se reduce a tamaño de partículas. La molienda es la operación en la que se acorta el volumen de una muestra sólida a partículas. La reducción se lleva a cabo cortando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. (Mc Cabe, Smith, & Harriott, 2002)

1.5. Tipos de molinos existentes

Los molinos más utilizados son los de martillo o de impacto, molinos de rodillos, molinos de desgaste y molinos de volteo. Son utilizados para la trituración de diferentes materiales y varían sobre todo en la complejidad de su construcción, tamaño y potencia.

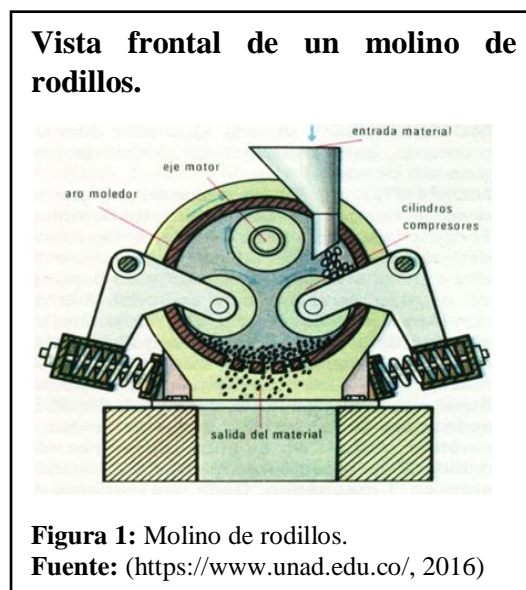
1.5.1. Molino de rodillos

Los molinos de rodillos suelen ser de barrido por aire y normalmente poseen en su centro separadores de aire, por tanto son empleados para triturar muy fino. (César Pleguezuelos, 2013)

Los materiales que se pueden triturar con este tipo de molinos son: caliza, magnesita, fosfatos, feldespato y otros como carbón y grafito. Se acuerda el tipo y tamaño de

molino deberán tenerse en cuenta los indicadores de esfuerzo de molienda necesario y la producción y finura deseadas. (César Pleguezuelos, 2013)

En este tipo de molinos, los sólidos son captados y triturados entre rodillos cilíndricos verticales y la carcasa, con la forma de una plaza de toros. Los rodillos giran a velocidades moderadas en una trayectoria circular. Los trozos de sólidos son desplazados desde la muela del mismo y llevados entre la carcasa y los rodillos, donde tiene lugar la molienda. El producto es barrido fuera de él por una corriente de aire hasta un separador – clasificador, desde el cual las partículas grandes retornan al triturador para su reducción posterior. Su alta complejidad de fabricación está dada por el diseño y construcción de los rodillos cilíndricos de gran volumen. En la figura 1 que se muestra a continuación se puede apreciar un ejemplo de esta variedad de molinos. (Mc Cabe, Smith, & Harriott, 2002, p. 52)



1.5.2. Molino de martillo o de impacto

El primer molino de martillos se desarrolló a partir de la machacada a mano. Este constaba de un mortero que presionaba el grano sobre una superficie que generalmente era una piedra. Con el pasar del tiempo el mortero se lo cambio por un martillo más

pesado. En la actualidad los molinos, han reemplazado el martillo de madera por una serie de metales, ubicados horizontalmente sobre un eje que rota. (Cuadrado Moncayo & Rueda Castillo, 2009, p. 150)

Todos estos molinos contienen un rotor que gira a gran velocidad en el interior de una coraza cilíndrica. Por lo general el eje es horizontal. La alimentación es por la parte superior de la coraza, se desintegra y cae a través de una abertura situada en el fondo. En un molino de martillos, las partículas se rompen por una serie de martillos giratorios acoplados a un disco de rotor. Una partícula de alimentación que entra en la zona de molienda no puede salir sin ser golpeada por los martillos. Se rompe en pedazos, que se proyectan contra la placa yunque estacionario situado dentro de la coraza, rompiéndose todavía en fragmentos más pequeños. Éstos a su vez son pulverizados por los martillos y son impulsados a través de una rejilla o un tamiz que cubre la abertura de descarga.

En la figura 2 que se observa a continuación se puede apreciar un ejemplo de este tipo de molino. (Mc Cabe, Smith, & Harriott, 2002)

Molino de martillos para la industria del reciclaje

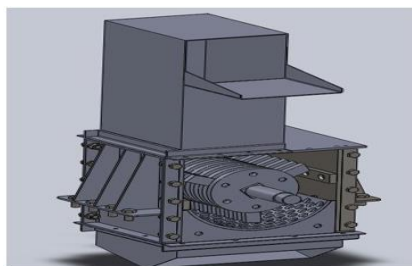
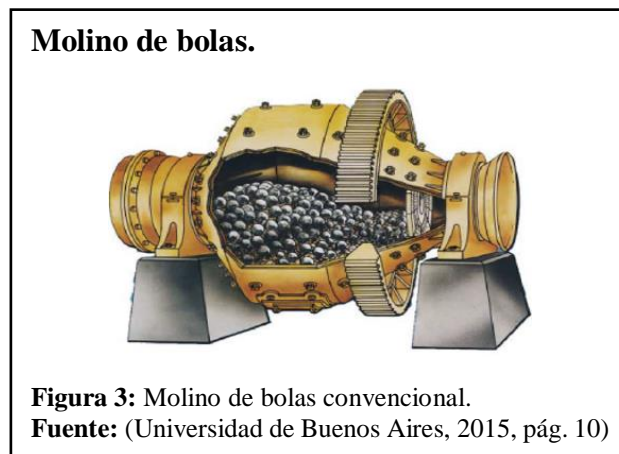


Figura 2: Molino de martillos utilizado en la industria de reciclaje

Fuente: (<https://www.unad.edu.co/>, 2016)

1.5.3. Molino de bolas

El molino de Bolas, está formado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal, que en su interior tiene bolas libres. El cuerpo gira gracia al accionamiento de un motor, el cual mueve un piñón que engrana con una corona que tiene el cuerpo cilíndrico. Las bolas se mueven haciendo el efecto “de cascada”, rompiendo el material que se encuentra en la cámara de molienda mediante fricción y percusión. El material a moler ingresa por un extremo y sale por el opuesto. Existen tres formas de descarga: por rebalse (se utiliza para molienda húmeda), por diafragma, y por compartimentado (ambas se utilizan para molienda húmeda y seca). En la figura 3 que se aparece a continuación podemos observar el diseño de uno de estos molinos (Universidad de Buenos Aires, 2015, pág. 9)



1.6. Análisis de alternativas

El análisis de la alternativas estará vasado en la evaluación de un conjunto de parámetros los cuales se refieren a las características de materiales y sus diferentes partes que influyen, así como costo de mantenimiento y de construcción, para el molino de hueso calcinado con una capacidad de $25 \frac{kg}{h}$, para la cual se seleccionará la

alternativa más eficiente para su perfecto funcionamiento y así cumplir todos los objetivos planteados anteriormente, sin olvidar la necesidad que requiere la población de Alambí.

Los parámetros que se tendrán en cuenta para el análisis son:

1.6.1. Capacidad de producción

En este punto se analiza el periodo de tiempo determinado en el cual la máquina se encarga en transformar la materia prima en el producto final, teniendo en cuenta la producción deseada.

1.6.2. Comodidad de operación

La facilidad en la operación de la máquina de manera que el operario trabaje cómodo y seguro, con el fin de evitar accidentes de trabajo o estrés laboral por una inadecuada manipulación del equipo.

1.6.3. Facilidad de construcción

Esto se basa en la facilidad y tiempo de construcción, así también en la capacidad de obtener los diferentes materiales para su construcción y ensamblaje de sus diferentes partes.

1.6.4. Costos de construcción

Este es uno de los factores que se debe analizar con más énfasis para tomar una decisión adecuada, en la cual se debe tener en cuenta el financiamiento de este proyecto desde su diseño hasta su fabricación.

1.6.5. Seguridad

En este punto se analizan los aspectos que tienen influencia en la seguridad de operario y la correcta operación del mecanismo.

1.6.6. Facilidad de mantenimiento

El mantenimiento de un equipo es quien nos garantiza el correcto funcionamiento del mismo, mientras más sencillos sean los procedimientos de mantenimiento podrá ser aplicado por cualquier persona sin la necesidad de conocimientos técnicos previos.

Para la calificación de este aspecto se tomará diferentes parámetros los cuales serán evaluados a partir de una variación del 1 al 10, siendo unos (1) la más baja y diez (10) la más alta calificación.

1.7. Selección de la alternativa más conveniente para el caso de estudio

Para el análisis de alternativas se parte de un estudio de los diferentes tipos de molinos así como el campo de aplicación de cada uno de ellos, lo cual dio como resultado que los modelos de molinos más idóneos para la molienda de hueso bobino para la obtención de abono orgánico son los molinos de rodillos lo cual se tomará como la alternativa número 1 y los molinos de martillos los cuales se analizarán como la alternativa número 2. En la siguiente tabla 2 se calificarán cada uno de los parámetros y se tomará la alternativa más adecuada, de acuerdo a la ponderación siguiente:

De 1 a 2: No cumple ningún de los parámetros.

De 3 a 5: Cumple con algunos parámetros, costo son altos, su seguridad no es muy confiable y sus materiales son difíciles de conseguir.

De 6 a 8: Cumple con la mayoría de los parámetros, los costos son medios y su seguridad es confiable.

De 9 a 10: Cumple con todos los parámetros, los costos son medios, su seguridad es muy confiable y sus materiales son fáciles de conseguir.

Análisis de alternativas

Tabla 2. Comparación de alternativas.

Parámetros	Calificación (1 – 10)	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Capacidad de producción	9	10
Comodidad de operación	8	8
Facilidad de construcción	3	9
Costos de construcción	5	8
Seguridad	10	10
Facilidad de mantenimiento	7	9
Total	42	54

Nota: Esta tabla muestra la alternativa más idónea la cual es la numero 2, es se trata del molino de martillos.

Fuente: (S. Guallichico & C. Cabrera, 2016)

1.7.1. Ventajas y desventajas del uso de un molino de martillos

Ventajas:

- La eficiencia del molino y facilidad de fabricación permite la construcción con materiales de fácil adquisición.
- Es fácil de instalar y operar.
- La velocidad de rotación y el tamiz se pueden cambiar rápidamente.
- Produce partículas finas con una distribución semejante de tamaños.
- El mantenimiento es fácil y barato

- Es fácil de limpiar y puede ser operado con un sistema de cierre para reducir los peligros del polvo y accidentes.

Desventajas:

- Dificultades para moler elementos con presencia de humedad.
- Los requisitos de consumo de energía y potencia se incrementan con el contenido de humedad de la materia prima.

1.8. Principios para la selección de un molino de martillos

Durante años se han realizado varios estudios teóricos y prácticos relacionados con el funcionamiento y diseño de molinos de martillo para varias aplicaciones. (Hill y Pulkinen, 1988) y (Samson et al., 2000) estudiaron el desempeño macro de molinos para forrajes, granos y materiales de biomasa. (Samson et al., 2000) reportó un consumo específico de energía de 44,9 kWh/t para un molino de martillos con un tamaño de tamiz de 5.6 mm para biomasa. (Ebling y Jenkins, 1985) mencionan que el contenido de humedad, densidad aparente, densidad real y tamaño de partícula y la forma de partículas son importantes para el diseño y cálculos.

De acuerdo con (Scholten y McElhiney, 1985) menciona que los molinos de martillos han logrado méritos debido a su capacidad para moler finamente una mayor variedad de materiales que cualquier otra máquina. (Hall y Davis, 1979 y Lopo, 2002) mencionan que hay algunos factores que influyen en el rendimiento molino de martillos incluyendo la velocidad lograda en la punta de los martillos y tamaño de tamiz, plantea que las velocidades en el extremo de martillo pueden variar debido al diseño del equipo y las necesidades de reducción de tamaño. Sin embargo, velocidades en el extremo generalmente varían de 76 m/s a 117 m/s. Además, indicaron que estas velocidades en el extremo se alcanzan habitualmente a revolución de eje de 2500 hasta

4000 rpm. El tamaño de partícula obtenido depende de la apertura del tamiz reemplazable; el grosor va desde 600 a 2500 micras.

Los resultados de (Vigneault et al., 1992) indican que los martillos más delgados garantizan un 13,6% de ahorro en el consumo de energía y el aumento de la tasa de molienda en un 11,1% para una calidad similar de grosor de partículas con martillos más gruesos. El consumo de energías eléctrica varía de 5,5 a 9,5 kWh/ton para espesores de martillo que van desde 1,59 hasta 8,00 mm, respectivamente. Además, la energía eléctrica varía de 4,6 a 12,9 kWh/t para velocidades en el extremo del martillo que van de 54 a 86 m/s para un martillo de espesor de 6,35 mm. (Hall y Davis, 1979) indicaron que el tamaño de las partículas resultantes depende del tamaño de los tamices instalados en la máquina y de la velocidad de alimentación de material en el molino. La capacidad de una máquina para moler las partículas depende de la potencia del mecanismo, y también del contenido final de humedad y tamaño de las partículas resultantes.

1.8.1 Molturabilidad de un molino

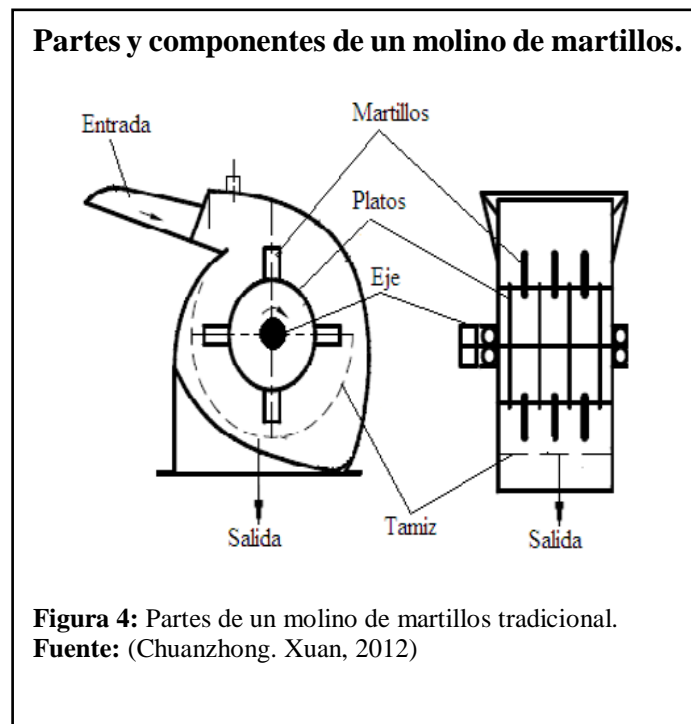
La molturabilidad se refiere al total de producto por unidad de tiempo de molienda (por ejemplo, toneladas/hora atravesando una malla de 1000 micras), por lo que se lo relaciona con la velocidad de molienda de un material para un molino en concreto. El principal propósito del estudio de la molturabilidad consiste en evaluar el tamaño, el tipo de molino que se requiere para producir un tonelaje específico y las necesidades de energía para la molienda. Hay tantas variables que afectan la molturabilidad que este concepto se utiliza sólo como una guía aproximada para dimensionar el molino, sin hacer referencia alguna a la distribución del tamaño del producto, el tipo o el tamaño del molino. Si se supone una ley de energía en particular, entonces el

comportamiento de molienda de varios molinos se expresa como un coeficiente de energía o índice de trabajo. Este concepto más preciso se ve limitado por la poca adecuación de estas leyes, pero a menudo constituye la única información disponible. Entre los factores importantes que determinan a esta propiedad están la dureza, la elasticidad, la resistencia a la divisibilidad, la molturabilidad se relaciona con el módulo de elasticidad con la velocidad del sonido a través del material. (Guayllas Poma & Montero Vargas, 2012)

1.9. Funcionamiento del molino de martillos

Básicamente un molino de martillos consta de un motor que transmite el movimiento rotatorio a través de un sistema simple de dos poleas y correa hasta el componente de molienda, constituido por un eje central con platos desde donde se balancean los martillos que giran dentro de la cámara de molienda, estos son similares y de forma rectangular. Un componente de tamizado situado al fondo y a ambos lados de la cámara de molienda regula el tamaño de salida de las partículas. Los martillos pueden ser fijos o con movimiento de balanceo libre.

En la figura 4 que se muestra a continuación se observa un esquema dónde se representan las partes y componentes fundamentales de este mecanismo.



Cuando el material se introduce en la cámara de molienda es molido por los martillos de alta velocidad de rotación, entonces el material ya triturado es forzado a salir por el tamiz, la otra parte de material que no puede pasar a través del tamiz sigue siendo triturada por los martillos hasta lograr un tamaño que le permita salir de la cámara de molienda. Los molinos de martillos tienen una amplia aplicación en estos procesos de reducción del tamaño de partícula debido a su diseño simple, robustez y versatilidad.

El molino de martillos utiliza la alta velocidad de su eje de rotación y los martillos como herramienta que transmite su energía cinética al material procesado. El borde de ataque de los martillos vence al volumen del material a triturar hasta que sea lo suficientemente pequeño para pasar a través del tamiz.

1.10. Elementos de diseño para un molino de martillos

Una vez seleccionada la mejor alternativa se procederá al análisis de diseño del molino de martillos para moler el hueso calcinado de res, este beneficiará a la población, en la reducción de tiempos en la producción de la harina y así se reducirá la mano de obra.

Para empezar el diseño del equipo se deberá tomar en cuenta la capacidad del mecanismo, punto importante para empezar el diseño, este valor fue solicitado por la población relacionado a la producción de $25 \frac{kg}{h}$, hueso molido, luego se analizarán las diferentes partes del mecanismo y fuerzas que ejercerán en la máquina.

En el siguiente listado se proporcionan las diferentes partes y elementos que conforman un molino de martillos:

- Eje principal
- Ejes de martillos.
- Platos porta martillos.
- Tolva.
- Estructura.
- Malla o tamiz.
- Chumaceras.
- Motor.
- Bandas y poleas.

1.11. Formulación para el diseño del molino de martillos

- **Diseño de martillos**

El diseño de martillos comenzará con el dimensionado de los mismos para esto se parte de la masa (m_m) que deben tener, para cumplir con el propósito deseado esta se calcula a partir de la ecuación 1 que se muestra a continuación:

$$m_m = \frac{Fc * 3}{\alpha * L} \quad (1)$$

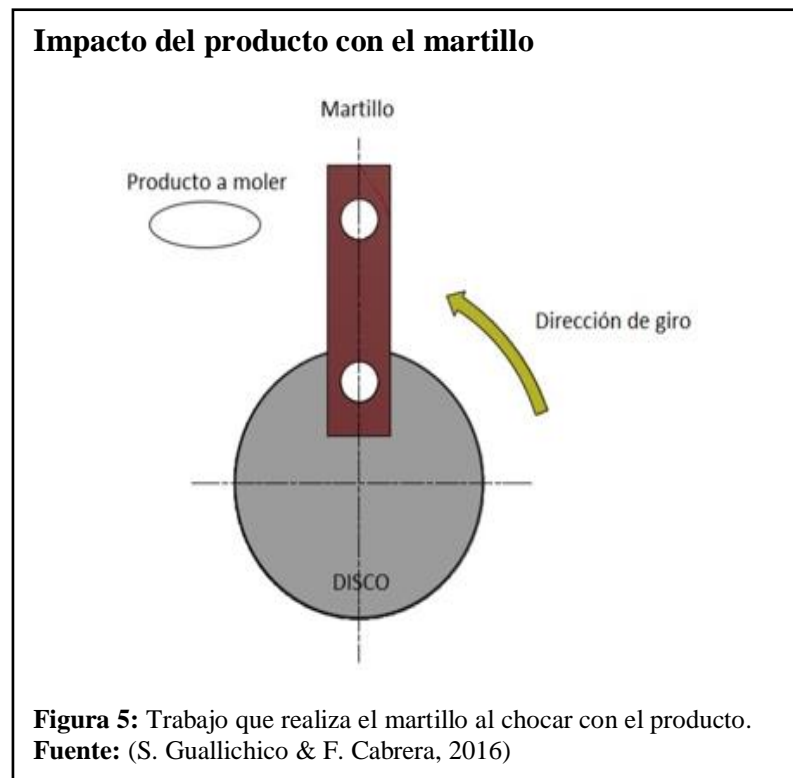
Donde:

Fc: Fuerza de corte media del hueso.

L: Largo del martillo.

α : Aceleración angular.

En la figura 5 se muestra el trabajo que realizará el martillo al chocar con el producto a moler.



Luego de conocer la masa del martillo se obtienen las dimensiones del mismo, a partir de la ecuación 2 que se muestra a continuación:

$$a = \frac{m_m}{\rho * e * L} \quad (2)$$

Donde:

a: Es el ancho del martillo.

L: Es el largo del martillo.

e: Espesor del martillo.

ρ : La densidad del material.

Luego de dimensionado el martillo, se realizará la comprobación mediante los criterios de resistencia. Para ello, lo primero será un análisis de las fuerzas que actúan en el martillo, las cuales se calcularán a partir de la Segunda Ley de Newton la cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$\sum F = m * a \quad (3)$$

Donde:

F: Fuerzas que actúan en el elemento.

m: masa del elemento.

a: aceleración.

Como este análisis de fuerza es estático entonces la aceleración se hace cero por lo cual la ecuación queda transformada de la siguiente manera.

$$\sum F = 0 \quad (4)$$

Luego de obtenidas las fuerzas que actúan en el elemento, el siguiente paso será determinar el esfuerzo cortante (T) el cual se calcula mediante la ecuación 5:

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_d} \quad (5)$$

Donde:

F_{cf} : Fuerza centrífuga.

A_d : Área de desgarre.

La comprobación será a partir del factor de seguridad (η) que se obtiene a partir de la ecuación 6 que se muestra a continuación:

$$\eta = \frac{S_y}{2 * \tau} \quad (6)$$

Donde:

S_y : Esfuerzo cortante admisible para el material del martillo.

Como siguiente paso se obtiene el esfuerzo normal por tracción (σ) a causa de la fuerza centrífuga, la cual se determina por la siguiente fórmula 7:

$$\sigma = \frac{F_{cf}}{A_{st}} \quad (7)$$

Donde:

A_{st} : Área de la sección transversal del martillo.

Después de obtener el esfuerzo normal por tracción, entonces se pasa a determinar el coeficiente de seguridad mediante la siguiente ecuación 8:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \quad (8)$$

- Diseño de los ejes porta martillos

Las fuerzas que soportan los ejes secundarios o porta martillos por lo general son: la fuerza centrífuga y el peso de los martillos, por esta razón los criterios de resistencia que se tendrán en cuenta serán similares a los empleados para diseñar los martillos donde la diferencia principal será la sección transversal de los mismos. El proceso de diseño de estos comenzará a partir del análisis de fuerzas al igual que en el caso anterior, seguido por el dimensionamiento de su geometría donde se asumirán valores

basados en prototipos ya existentes; y, como último paso, se calcularán los esfuerzos normales los cuales serán comprobados a partir del cálculo del coeficiente de seguridad.

- **Diseño del eje principal**

En el caso del eje principal se realiza el análisis de fuerzas externas que actúan en el elemento, calculando las mismas a partir de la Segunda Ley de Newton. En un segundo momento se toman en cuenta los criterios de resistencia, en este caso se calcula la resistencia a la fatiga, ya sea cargas o tensiones cíclicas.

Las tensiones o cargas cíclicas en un elemento pueden ser axiales (tensión y compresión), de flexión o torsional. De manera general, son posibles tres modos diferentes de tensión fluctuante en el tiempo:

- a. Si se representa esquemáticamente por una onda senoidal del tiempo, se obtiene que la amplitud es simétrica y varía de un valor máximo a un mínimo de igual magnitud que la tensión aplicada y se denomina ciclo de carga invertida. (Mott, 2006, pág. 584)
- b. Si los máximos y mínimos son asimétricos con respecto al nivel cero de carga, entonces se denomina ciclo de carga repetida. (Mott, 2006, pág. 584)
- c. En el caso de que el nivel de tensión varíe al azar en amplitud y frecuencia, entonces la amplitud de la tensión variará alrededor de un valor medio. El promedio de las tensiones máximas y mínimas en cada ciclo se denomina aleatorio y se expresa como se muestra en la ecuación 9 que se observa a continuación. (Mott, 2006, pág. 584)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} * \sigma_{\min}}{2} \quad (9)$$

El intervalo de tensiones es la diferencia entre tensión máxima y mínima como se representa en la siguiente ecuación 10.

$$\sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (10)$$

El cociente de tensiones R que se muestra en la fórmula 11 es el cociente entre las amplitudes mínima y máxima.

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (11)$$

Por convención, los esfuerzos a tracción son positivos y los esfuerzos de compresión son negativos. Para el caso de un ciclo con inversión completa de carga, el valor de R es igual a -1

Para utilizar este criterio de resistencia en el dimensionado previo de los ejes se deben tener en cuenta los diferentes casos que existen o sea las diferentes cargas a las que pudiera estar expuesto el elemento. El caso de árboles sometidos a un estado tensional simple es menos frecuente en la práctica, ya que usualmente los árboles están sometidos a esfuerzos normales y tangenciales, provocados en su mayoría por una actuación combinada de momentos flectores y torsores en la sección analizada.

Aunque para el análisis del efecto de los esfuerzos combinados en la resistencia de materiales existen varios principios, de ellos, los más utilizados son los establecidos por la Hipótesis de la Tensión Tangencial Máxima (Mohr, Guest, Coulomb) y la Hipótesis del Trabajo Específico de la Deformación de las Tensiones Tangenciales (Mises, Huber y Hencky) ya que las pruebas demuestran que estas hipótesis ofrecen valores bastante aceptables para los árboles de acero que se encuentran sometidos a momentos flectores y torsores (Mott, 2006, pág. 602)

Para este caso se utilizará el Criterio de Resistencia de Von Mises el cual se muestra en la siguiente ecuación 12:

$$Mfe = \sqrt{Mf^2 + 0,75Mt^2} \quad (12)$$

La manera de llevar estos criterios al dimensionado previo de un eje se representa en la ecuación 13 que se muestra a continuación:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * Mfe}{\pi * [1 - (\frac{d_0}{d})^4] * [\sigma_{-1f}]}} \quad (13)$$

Donde:

d: Diámetro mínimo que deberá tener el eje (mm)

Mf: momento flector resultante en la sección analizada del árbol (Nmm).

Mt: Momento torsor resultante en la sección analizada del árbol (Nmm).

Mfe: Momento flector equivalente en la sección analizada del árbol (Nmm).

$[\sigma_{-1f}]$: Esfuerzo admisible por fatiga para una flexión alternativa y simétrica (MPa).

- **Diseño de los discos**

El diseño de los discos estará basado fundamentalmente en la comprobación de los criterios de resistencia ya que a partir del dimensionado de otros elementos se obtienen datos que simplifican el volumen de cálculos, como por ejemplo, se sabe que el disco tendrá en agujero central cuyo diámetro será igual al diámetro del eje principal, también se sabe que tendrá otros 3 agujeros dispuestos a 120° de diámetro igual a de los eje porta martillos. Partiendo de estos datos solo quedaría determinar el espesor y el diámetro del disco, los cuales se toma de 10 y 200mm, respectivamente, basado en el modelo estándar que se consideró para el desarrollo de este proyecto. Para el cálculo de los esfuerzos al igual que en los casos anteriores se parte del análisis de fuerzas y reacciones en los apoyos las cuales se determinarán a partir de la ecuación 3 mostrada

con anterioridad. Luego se procederá al análisis de los criterios de resistencia a partir de la ecuaciones 4,5, 6, 7 y 8.

- Selección del motor

Para la selección del motor, los investigadores se basaran en que será acoplado al molino. Se deben calcular una serie de factores como son la velocidad en rpm, la potencia de molienda y la potencia del molino. El cálculo aprecia en las ecuaciones 13 y 14 que se muestran.

Para calcular la velocidad del eje, se utilizan los siguientes parámetros:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (14)$$

Donde:

N_1 = Revolución de la polea más pequeña (motor), rpm.

N_2 = Revolución de la polea más grande (molino), rpm.

D_1 = Diámetro de la polea más pequeña (motor), mm.

D_2 = Diámetro de la polea más grande (molino), mm.

Mientras que para calcular la potencia de molienda podemos utilizar un método muy útil que permite conocer la energía necesaria para la trituración y molienda, el cual fue propuesto por Bond en 1952, quien planteó que el trabajo necesario para formar partículas de un tamaño D_p a partir de una alimentación muy grande es proporcional a la raíz cuadrada de la relación $\frac{S_p}{v_p}$; o sea de la relación que existe entre la superficie y el volumen del producto, se deduce la siguiente ecuación 15: (Guayllas Poma & Montero Vargas, 2012)

$$\frac{P_m}{M_t} = 0,3162 * w_{it} * \left(\frac{1}{\sqrt{D_{pb}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right) \quad (15)$$

Donde:

P_m = Potencia de molienda, kW

w_{it} = Índice de trabajo de consumo eléctrico por producción (kW.h/ton)

D_{pa} = 80% de la alimentación (40 mm para entrada de huesos de 5 cm de largo promedio)

D_{pb} = Diámetro del 80% del producto (0.8 mm para salida de partículas de 1000 µm).

Como resultado de ensayos realizados, Bond concluyó que el material se podía caracterizar mediante este parámetro que denominó Índice de Trabajo w_{it} , y que relacionó con la capacidad de molienda según la ecuación empírica que se muestra a continuación (Guayllas Poma & Montero Vargas, 2012)

$$w_{it} = \frac{(1.1)(44.5)}{p_i^{0.23} * G_{bp}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{x_{QT}}} - \frac{10}{\sqrt{x_{GT}}} \right)} \quad (16)$$

Donde:

w_{it} : Viene expresado en kWh/ton métricas

p_i : Es el tamaño en micrómetros de la malla

G_{bp} : Es la moliendabilidad.

x_{QT} : Es el 80% del producto

x_{GT} : Es el 80% en la alimentación

Todos determinados en el ensayo. Para explicarlo de otra forma, es el índice de trabajo que se necesita para reducir una alimentación muy grande hasta un tamaño tal que el 80% del producto pase a través de un tamiz.

Se debe destacar que el número 10 corresponde a $\sqrt{100} \mu\text{m}$, por lo que es adimensional. El factor 1.1 convierte el Índice de Trabajo de Bond de kWh/tonelada corta a kWh/tonelada métrica. (Guayllas Poma & Montero Vargas, 2012)

Como se vio, anteriormente, en el enunciado 1.3, el hueso calcinado se encuentra en la escala 2 de la dureza Mohs, comparable con la roca de yeso que se raya fácilmente con la uña. Haciendo una comparación con la siguiente tabla, donde se referencian los Índices de Trabajo de Bond de diferentes materiales, se observa que se puede tomar para el hueso el mismo valor de la roca de yeso que es de 8 kWh/tonelada métrica.

Tabla 3. Índices de trabajo para diferentes materiales.

Material	Índice de trabajo Wrr kwr/ton
Arena de Zirconio	28
Bauxita	11
Carburo de silicio	32
Clinker de cemento	16
Pernal	32
Fluorespato	11
Grafito	12
Roca de yeso	8

Fuente: (Guayllas Poma & Montero Vargas, 2012)

Entonces, teniendo estos datos se puede calcular la potencia de molienda, mediante la ecuación 17 que se muestra a continuación. El índice de trabajo incluye la fricción en el triturador, y la potencia es potencia bruta.

$$\frac{P_m}{M_t} = 0,3162 * w_{it} * \left(\frac{1}{\sqrt{D_{pb}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right) \quad (17)$$

La potencia del molino es la necesaria para vencer la inercia de los elementos que conforman el mismo, como el eje principal, los martillos y el eje secundario. Para ello vamos a utilizar la siguiente ecuación:

$$P = T * W \quad (18)$$

Donde:

P = Potencia del molino

T = Torque

W = Velocidad angular

Para calcular el torque (T) se necesita la fuerza de corte del hueso de res calcinado (F_{co}) y la distancia desde el centro del eje principal hasta la punta del martillo ($d1 = 0,13m$).

$$T = F_{co} * d1 \quad (19)$$

La fuerza de corte del hueso de res calcinado se determinó experimentalmente en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, dando como resultado un promedio de:

$6,33 \text{ kgf} = 62,1N$. La velocidad angular será calculada con la ecuación 18.

- Selección de bandas y poleas

- Potencia de diseño

$$Pd = Pa * Fs$$

(20)

Donde:

Pd =Potencia de diseño

Pa =Potencia de accionamiento

Fs =Factor de servicio

- Relación de velocidad

$$Rv = \frac{N1}{N2}$$

(21)

Donde:

Rv =Relacion de velocidad

- Distancia entre centros

$$C \text{ máx} = 2 * (D2 + D1)$$

(22)

$$C \text{ mín} = 0,7 * (D2 + D1)$$

(23)

Donde:

$C \text{ máx}$ =Distancia máxima entre centros.

$C \text{ mín}$ =Distancia mínima entre centros.

CAPÍTULO II

2. CÁLCULOS Y DISEÑO DEL MOLINO

En el presente capítulo se realizarán los cálculos correspondientes al diseño de las partes fundamentales del molino de martillos que se desea construir; también se seleccionarán aquellos elementos que estén normalizados en relación con los resultados de los elementos diseñados. Partiendo del estudio teórico realizado en el capítulo anterior, así como del análisis de diseños ya existentes. Para el proyecto se toma un modelo que constará de 24 martillos, 3 ejes secundarios y 3 platos porta martillos así como un tamiz de 1000 micras, y, el material de los elementos será acorde al diseño.

2.1. Determinación de la molturabilidad

De acuerdo a los resultados obtenidos en varios prototipos de molino de martillos con tamices de 1000 micras, y conforme a la definición de molturabilidad se tendrá que: (Guayllas Poma & Montero Vargas, 2012)

$$M_t = \frac{m_p}{t_m} * 60 \quad (24)$$

Donde:

M_t = Molturabilidad (kg/min).

m_p = Masa de producto que pasa a través del tamiz designado (kg).

t_m = Tiempo en cual el producto pasa por tamiz designado (min).

60 = Factor de conversión de min a horas (adimensional)

Se debe aclarar que para este cálculo se propone el tiempo en que el producto pasa por tamiz designado igual a 30 segundos y a la masa del producto de 0.4kg, por lo cual sustituyendo en la ecuación 24 tenemos que:

$$M_t = \frac{m_p}{t_m} * 60 = \frac{0.4kg}{0.5 \text{ min}} * 60$$

$$M_t = 48 \frac{kg}{hora} = 105 \frac{Lb}{hora} \text{ de material por el tamiz de } 1000 \mu m.$$

2.2. Diseño de las dimensiones de los martillos

Se parte calculando la masa necesaria que deben tener los martillos a partir de la ecuación 1 mostrada en el capítulo anterior. Una vez que se obtiene la masa del martillo se establece un espesor de la herramienta en base al tamaño del producto a ser triturado. Se determinan que la fuerza de corte media (F_c) es igual a $700kg/cm^2$ y se tiene un largo del martillo 9 cm por lo cual es necesario calcular la aceleración (α) lo que se calcula mediante la ecuación 25 que aparece a continuación:

$$\alpha = \frac{\omega_v^2 - \omega_c^2}{2 * \theta} \quad (25)$$

$$\alpha = 11,66m/s^2$$

Donde:

ω_v : Velocidad angular de vacío la cual será de 3250rpm ya que no se quiere trabajar al límite de las revoluciones recomendadas para molinos de martillos, las cuales se encuentran en un rango de 3000 a 3500 rpm. (Cuadrado Moncayo & Rueda Castillo, 2009)

ω_c : Velocidad angular con carga que en este caso es 3412 rpm lo cual se obtuvo a partir del radio de giro a partir de la fórmula 21.

$$r_g = \frac{V_c * 60}{2 * \pi * \omega} \quad (26)$$

Donde:

V_c : Velocidad tangencial final que se obtiene a partir de la fórmula que se muestra a continuación:

$$V_c = -V_v * \frac{C_s - 2}{C_s + 2} \quad (27)$$

Donde:

V_v : Velocidad de vacío que es igual a la velocidad tangencial (V_t) que se obtiene a partir de la energía cinética como se muestra en la siguiente ecuación 27.

C_s : Coeficiente de fluctuación que para molinos de harina se encuentra en el rango de (0,015-0,025).

$$E_c = \frac{1}{2} m * V^2 \quad (28)$$

Donde:

$E_c =$ Energía cinética.

$m_h =$ Masa del hueso.

$V^2 =$ Velocidad del martillo.

Para obtener la fórmula de la velocidad tangencial del martillo, se igualará la ecuación 28 y ecuación 29 de la energía potencial que aparece a continuación y se despeja la velocidad obteniendo la ecuación 30.

$$Ep = m * g * h \quad (29)$$

Donde:

$m_m = \text{Masa de objeto.}$

$g = \text{Gravedad.}$

$h = \text{Altura}$

- **Velocidad tangencial al extremo del martillo**

$$m_m * g * h = \frac{1}{2} m_h * Vt^2$$

$$Vt = \sqrt{\frac{m_m * g * h}{\frac{1}{2} m_h}} \quad (30)$$

Remplazando los valores se obtiene:

$$Vt = \sqrt{\frac{0,2 * 9,8 * 1}{\frac{1}{2} 0,4}} = 3.13 \text{ m/s}$$

Luego de obtener la velocidad tangencial de los martillos se sustituye en la ecuación

27 y se obtiene:

$$Vc = -3.13 \frac{0,025 - 2}{0,025 + 2} = 3.05 \text{ m/s}$$

$$Vc = 3.05 \frac{m}{s}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 1 se tiene que la masa del martillo será:

$$m_m = \frac{0,07 * 3}{11,66 * 0,09} = 0,2 \text{ kg}$$

Luego de la masa del martillo se determina su ancho, para esto se emplea la fórmula 31 que se muestra a continuación.

$$a = \frac{m_m}{\rho * e * L} \quad (31)$$

Donde:

a: Ancho del martillo

e: Espesor del martillo

ρ : Densidad del material con el cual se va a construir el martillo

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior se obtiene que el ancho mínimo será:

$$a = \frac{200g}{\frac{7,85g}{cm^3} * 0,8cm * 9cm} = 3,54 \text{ cm}$$

A partir del resultado anterior donde el espesor del martillo tiene un valor de 3,54cm, se decide aproximar este valor por exceso y se asume entonces un espesor del martillo de 4cm.

2.2.1. Cálculo de la Resistencia del martillo

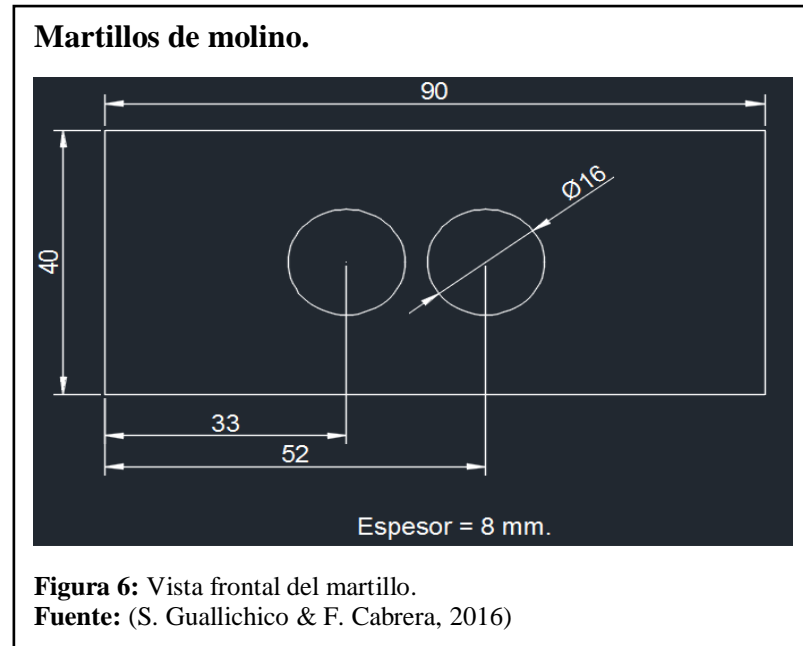
A consecuencia de la tracción que genera el perno sobre área de la placa se pueden producir fallas en el martillo, ya sean por desgarramiento o por cizalladura, por lo que es necesario calcular la resistencia del martillo a este tipo de fallas así como su coeficiente de seguridad. Para lo cual se utilizará la ecuación 6, descrita en el subtítulo 1.11 del marco teórico. Para realizar este cálculo se necesitan dos datos: la fuerza centrífuga y el área de desgarre. El área de desgarre se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$A_d = e * d_1 * 2 \quad (32)$$

Donde:

e: Es el espesor del martillo (8mm)

d₁: La distancia del orificio al borde de martillo (33mm) como se muestra en la figura 6 que se muestra a continuación.



Entonces se obtiene que:

$$A_d = 0.008 * 0.033 * 2$$

$$A_d = 0.000528m^2$$

Por otra parte, la fuerza centrífuga estará dada por la ecuación 33 que se muestra continuación:

$$F_{cf} = \omega^2 * m_m * R_g \quad (33)$$

Donde:

ω^2 : Velocidad angular que en este caso es 3412,03 rpm = 357,125 rad/s.

m_m : Masa del martillo (0,2 kg).

R_g : Radio de giro (0,29 m).

Entonces se tiene:

$$F_{cf} = 7397.22 \text{ N}$$

Luego de obtener la fuerza centrífuga y el área de desgarre se puede calcular el esfuerzo cortante sustituyendo en la ecuación 5, donde se obtiene que:

$$\tau = \frac{7397,22 \text{ (N)}}{0,000528 \text{ (m}^2\text{)}} = 14009886.36 \text{ Pa}$$

$$\tau = 14,01 \text{ MPa}$$

Con el valor del esfuerzo cortante obtenido se calcula el coeficiente de seguridad a partir de la ecuación 6 referenciada en el capítulo anterior. Para realizar este cálculo se necesita el valor de esfuerzo de fluencia (S_y) para el material del cual serán fabricados los martillos. En este caso el valor de S_y para el acero K100 es de 400 a 550 MPa, para realizar el cálculo de factor de seguridad se tomará el valor mínimo o sea 400 MPa. Sustituyendo estos valores de la ecuación 6 se obtiene:

$$\eta = \frac{400 \text{ MPa}}{2 * 14,01 \text{ MPa}} = 14.3$$

Es válido aclarar que este factor de seguridad es demasiado elevado por lo cual el elemento se encuentra sobredimensionado, por lo que se debe valorar la posibilidad de cambiar el tipo de material o asumir otras dimensiones iniciales.

Pero por estética y facilidad económica, en su obtención, se tomara este material; además de las fallas por desgarre o cizalladura también pueden surgir fallas por tracción a causa de los esfuerzos normales por tracción y de la fuerza centrífuga. Estos esfuerzos normales se calculan a partir de la ecuación 7 que se describe en el capítulo

anterior. Para realizar dicho cálculo será necesario obtener el área de la sección transversal del martillo, la que viene dada por:

$$A_{st} = a * e = 0.04 * 0.008 = 0.00032 m^2$$

Sustituyendo lo valores en la ecuación 7 se obtiene que:

$$\sigma = \frac{7397,22 N}{0,00032 m^2} = 23116312.5 Pa = 23,12 MPa$$

Luego, al sustituir los datos en la ecuación 8 referida al factor de seguridad se obtiene como resultado:

$$\eta = \frac{400 MPa}{23.12 MPa} = 17,3$$

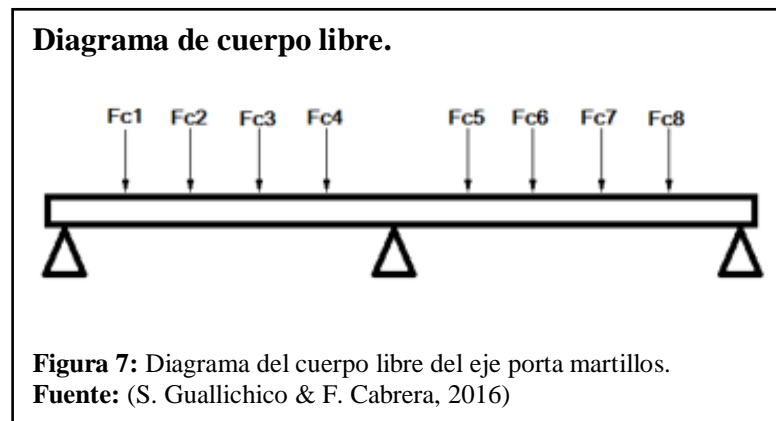
Al igual que en el caso anterior se comprueba que el elemento se encuentra sobredimensionado ya que con un factor de seguridad de 3 sería suficiente.

2.3. Diseño de los ejes porta martillos

Para el diseño del eje porta martillos se parte de algunos datos que fueron predefinidos en el diseño del martillo como es el diámetro del mismo, el cual será de 16 mm. Este estará construido de acero AISI 4140. Además, se determina que el mismo tendrá cabeza hexagonal y una tuerca de 10 mm de espesor. La cantidad de ejes porta martillos será 3 y los mismos soportarán las cargas de 8 martillos. Estos pernos serán iguales y estarán uniformemente distribuidos; por otro lado estarán soportados por 3 discos porta martillos ubicados también de manera simétrica y de iguales dimensiones.

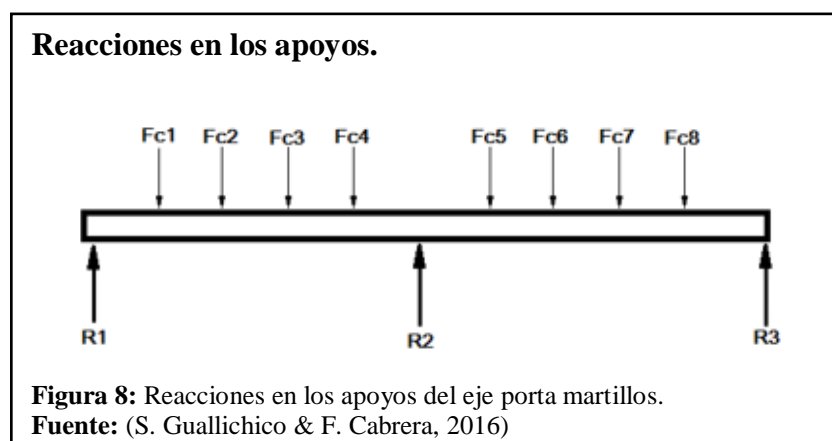
- **Análisis estático del eje porta martillo.**

En la figura 7 que se muestra continuación podemos observar un esquema simplificado del perno, el cual estará simplemente apoyado en 3 puntos y soportará las cargas de 8 martillos.



En la figura 8 que se muestra a continuación se representan las reacciones en los apoyos del sistema. Es válido aclarar que R_1 , R_2 y R_3 van a ser iguales dado que los discos que los sostienen también lo son, además F_{c1} , F_{c2} , F_{c3} , F_{c4} , F_{c5} , F_{c6} , F_{c7} y F_{c8} también serán iguales ya que son las fuerzas centrífugas de cada uno de los martillos, las cuales son iguales porque estos también son iguales.

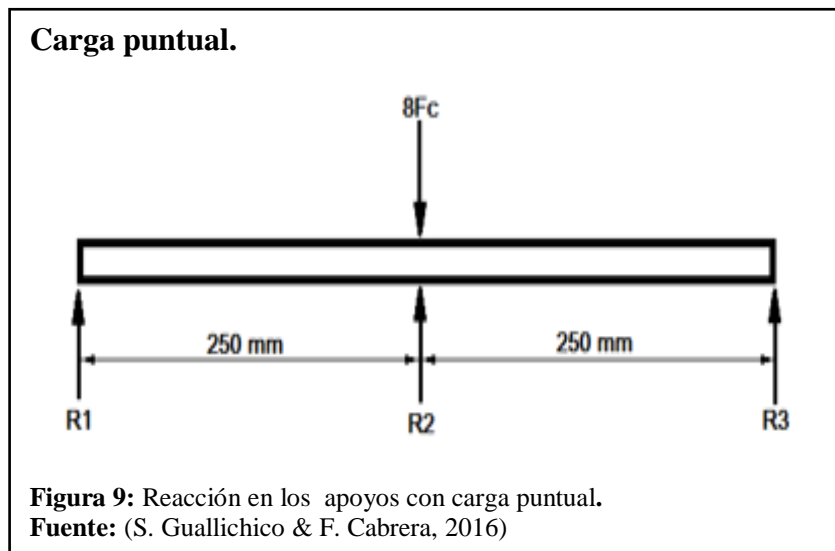
En la siguiente figura se observan las reacciones que son aplicadas en el eje porta martillos.



Con el fin de determinar el factor de seguridad del eje se calcularan las fuerzas y reacciones en los apoyos en equilibrio estático del sistema a partir de la ecuación 4 referenciada en el capítulo anterior a partir de la cual tenemos que:

$$R1 - Fc1 - Fc2 - Fc3 - Fc4 + R2 - Fc5 - Fc6 - Fc7 - Fc8 + R3 = 0$$

Dado que todas las fuerzas centrífugas son iguales y se analiza la carga distribuida como una carga como se muestra en la figura 9 que aparece a continuación.



Si se hace sumatoria de momento en R2 se tiene que:

$$(0.25) R1 - (0.25) R3 = 0 \text{ o sea } (0.25) R1 = (0.25) R3$$

$$R1 = R3$$

Luego:

Con la ecuación 33 se obtiene el F_{cf} , la cual remplazamos en la siguiente ecuación para obtener las reacciones en los diferentes puntos.

$$(2)R1 + R2 = 8F_{cf}$$

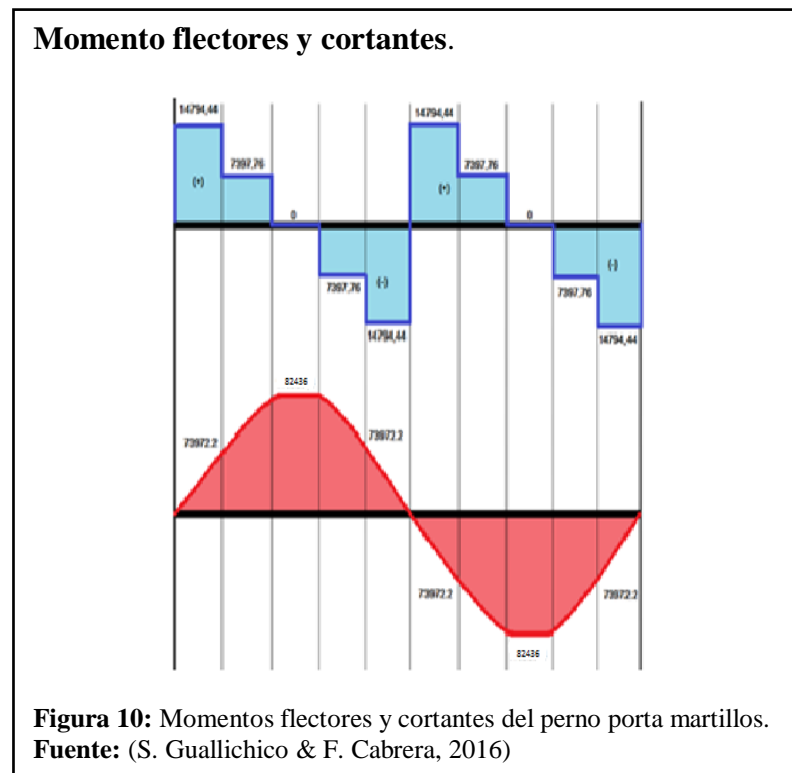
Resolviendo:

$$R1 = 14794,44$$

$$R2 = 29588,88$$

$$R3 = 14794,44$$

En la figura 10 que se muestra a continuación se obtienen los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector para el perno porta martillos.



Al observar los diagramas de momento flector y cortante se puede comprobar que la zona más crítica del eje es el centro, por lo cual es indispensable conocer los esfuerzos normales por flexión que actuaran en este punto, para lo cual se utilizará la fórmula que se muestra a continuación:

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad (34)$$

Donde:

M: Momento flector

C: Distancia desde el eje neutro hasta el extremo

I: Momento de inercia del perno

Si se descompone la ecuación 34 en factores conocidos se tiene que:

El momento (M) se obtiene de acuerdo al diagrama de momento flector y fuerza cortante como se indica en la figura 10 del documento.

$$\sigma = \frac{M * C}{I} = \frac{M * \frac{d}{2}}{\frac{\pi * d^4}{64}}$$

$$\sigma = \frac{M * C}{d^3 * \pi}$$

$$\sigma = \frac{82436 * 32}{16^3 * \pi} = 202.3MPa$$

Luego para obtener el factor de seguridad se aplica la ecuación 6 que aparece en el marco teórico, donde al sustituir los valores se obtiene:

$$\eta = \frac{400MPa}{202.3MPa} = 1.977 \approx 2$$

2.4. Diseño de los discos porta martillos.

Para el diseño de los discos porta martillos se partirá de algunos datos como son el diámetro y el espesor de los discos los cuales se tiene un rango de 200 y 10mm respectivamente; además se sabe que los mismos tendrán 3 perforaciones dispuestas de manera simétrica a 120° y con un diámetro de 16 mm para los ejes portamartillos. Por lo cual lo único que faltaría determinar en el disco sería su resistencia a los esfuerzos por tracción lo cual se realizará a partir de la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{A_d} \quad (35)$$

Donde al descomponer A_d se obtiene:

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{e * d_1 * 2} \quad (36)$$

Sustituyendo los valores:

$$\tau = \frac{2 * (7397,22)}{0,01 * 0,016 * 2} = 46232625 \text{ Pa}$$

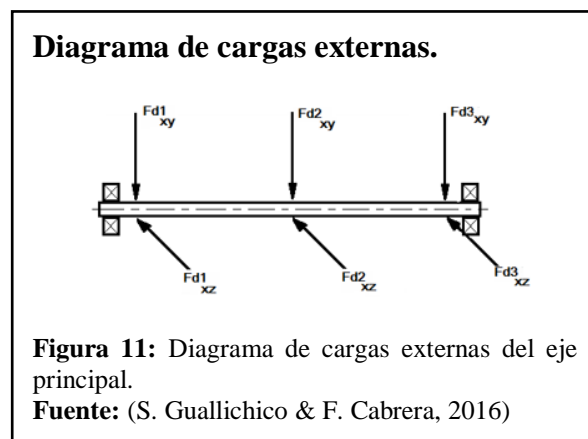
$$\tau = 46,23 \text{ MPa}$$

A partir del resultado anterior se puede obtener el coeficiente de seguridad utilizando la ecuación 6 lo que brinda como resultado, como se observa el número 400 es el esfuerzo de fluencia (S_y) del acero AISI 4140, como se indica en el capítulo anterior.

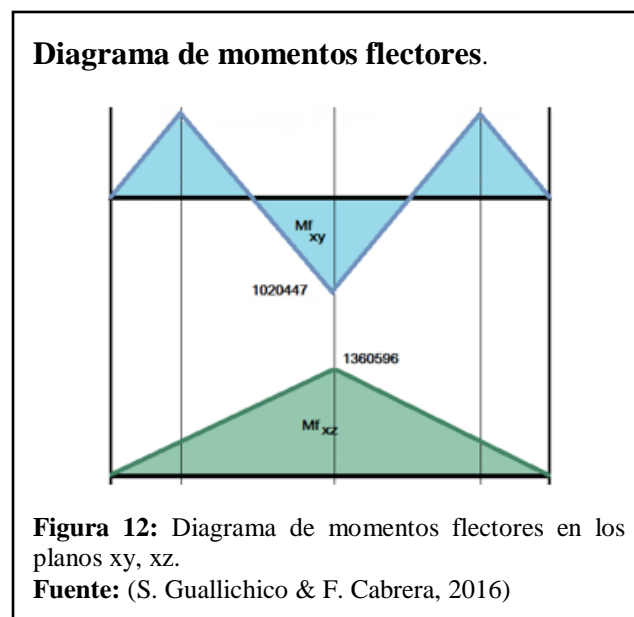
$$\eta = \frac{400}{2 * 46,23} = 4.33$$

2.5. Diseño del eje principal

Para el dimensionado previo del eje principal se comenzará analizando las cargas externas así como los diagramas de momentos flectores en un plano como se muestra en las figuras 11 y 12 que aparecen a continuación. En la siguiente figura se observa las cargas que actúan en el eje principal.



A partir de una sumatoria de momentos en $Fd2_{xy}$ se obtiene que $Fd1_{xy} = Fd3_{xy}$, y, luego de realizar una sumatoria de fuerza se obtiene la relación que establece que $Fd2_{xy} = (2) Fd1_{xy}$, por lo cual los diagramas de momentos para cada uno de los planos se representan de la forma siguiente:



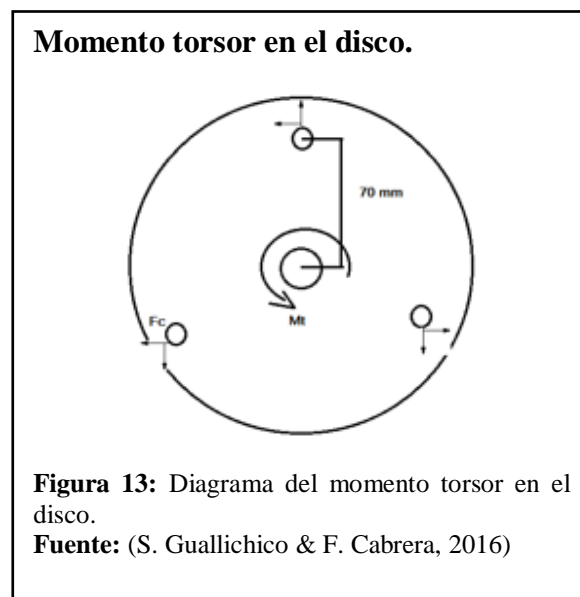
De donde se obtendrá el Mf a partir de la ecuación 38 que se muestra a continuación:

$$Mf = \sqrt{Mf_{xy}^2 + Mf_{xz}^2} \quad (37)$$

$$Mf = \sqrt{1020447^2 + 1360596^2}.$$

$$Mf = 1700745 \text{ Nmm}.$$

Otro dato que se necesitará es el momento torsor, el cual se analiza respecto a los discos como se muestra a continuación, donde solo se toma en cuenta la fuerza en uno de los pasadores ya que es en el punto donde ocurre el impacto del martillo con el material a moler.



Este análisis se hace para cada uno de los discos obteniendo como resultado final el momento torsor que ejercen en el eje principal, el cual es $Mt = 3599767 \text{ Nmm}$.

Con los datos de los momentos obtenidos con anterioridad se calculará el Mfe equivalente, el cual se utiliza para el dimensionado previo del eje y viene dado por la

ecuación 12 que se muestra en el capítulo 1, en la cual se sustituye los valores correspondientes y se obtiene:

$$Mfe = \sqrt{(1700745)^2 + 0,75(3599767)^2}$$

$$Mfe = 351235.75 \text{ Nmm}$$

Luego substituyendo los valores en la ecuación 13 referenciada en el marco teórico se obtiene:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * 351235.75}{\pi * [1 - 0] * [27.4]}} = 50,73 \text{ mm}$$

Por lo cual se toma un diámetro para el eje principal de 2 pulgadas o 50,8mm existente en el mercado.

2.6. Cálculo de la potencia del motor

- Determinación de la velocidad del motor

Para calcular la velocidad del eje principal, se parte de que se desea obtener una velocidad máxima en el eje del molino de 3000 rpm, con poleas pre-diseñadas de 200 y 100 mm y mediante la relación expresa en la ecuación 14 se tiene qué:

$$N_2 = \frac{N_1 * D_1}{D_2} = \frac{3000 \text{ rpm} * 100 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 1500 \text{ rpm}$$

Esta velocidad del eje solamente es exacta cuando no hay condición de deslizamiento de la correa sobre las poleas. Pero sucede que a partir de los 700 rpm está presente el deslizamiento y la condición de fluencia, por lo que el valor de la velocidad tiende a reducirse en un poco más de 4% (Spolt, 1988).

$$N_1 = W = 1500 \text{ rpm} + (1500 \text{ rpm} * 0.04)$$

$$N_1 = W = 1500 \text{ rpm} + 60 \text{ rpm} = 1560 \text{ rpm} = 163,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Se escoge un motor con una velocidad de rotación igual o ligeramente superior a 1560 rpm, y no menor a 1500 rpm.

- **Potencia de molienda**

Sustituyendo los datos en la ecuación 15 se tiene que:

$$P_m = \frac{48 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,3162 * 8 \text{ kWh/ton}}{1000} * \left(\frac{1}{\sqrt{0,8}} - \frac{1}{\sqrt{40}} \right)$$

1000 es el factor de conversión de toneladas a libras.

$$P_m = 0,12 * (1,12 - 0,16) = 0,12 \text{ HP}$$

- **Potencia del molino**

De la ecuación 19:

$$T = 62,1N * 0,13m = 8,073Nm$$

$$T = 8,073Nm$$

De la ecuación 18:

$$P = 8,073Nm * 163,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1319,13 \text{ Watts} = 1,77HP$$

$$P = 1319,13 \text{ Watts} = 1,77HP$$

La potencia total de accionamiento será la suma de la potencia de molienda y la potencia del molino:

$$Pa = Pm + P$$

$$Pa = 0,12HP + 1,77HP = 1,89HP$$

(38)

Se seleccionará un motor de 2HP.

2.7. Selección de bandas y poleas

- Potencia de diseño

Una vez seleccionado el motor se tiene que:

$$Pd = 2HP * 1,6 = 3,2HP$$

$$Pd = 3,2HP$$

- Tipo de correa

El tipo de correa más adecuado resulta de cruzar la potencia de diseño con el número de revoluciones que entrega el motor, en la siguiente tabla:

Tabla para seleccionar el tipo de correa en “V”.

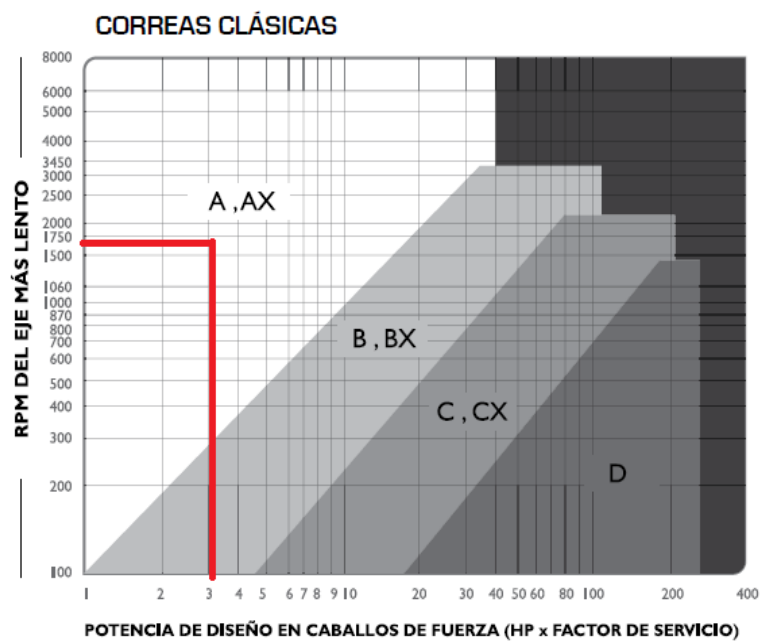


Figura 14: Potencia de diseño y revoluciones del motor.

Fuente: (INTERMEC, pág. 26)

Como se puede observar lo más recomendable es utilizar una correa tipo A.

- **Relación de velocidad**

Para obtener la relación de velocidad se debe recalcular N_2 , con las revoluciones del motor y de la ecuación 13 se obtiene que:

$$N_1 = 1720RPM$$

$$N_2 = 860RPM$$

$$Rv = \frac{1720RPM}{860RPM} = 2$$

- **Selección de la polea motriz**

Conociendo el tipo de correa (A), el diámetro de la polea motriz $D_1=100mm$ y el número de revoluciones del motor $N_1 = 1720RPM$, la cantidad de canales de la polea motriz resulta de cruzar estos 2 últimos datos en la siguiente tabla:

Tabla de capacidad de transmisión por canal – CORREAS TIPO A

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)								
	85	90	100	105	110	115	120	125	130
50	0,11	0,13	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24
100	0,20	0,23	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,42	0,45
500	0,71	0,83	1,07	1,20	1,30	1,43	1,55	1,67	1,80
600	0,81	0,96	1,24	1,38	1,52	1,66	1,80	1,94	2,08
700	0,91	1,08	1,40	1,57	1,73	1,90	2,05	2,20	2,36
800	1,00	1,20	1,56	1,74	1,92	2,10	2,28	2,46	2,64
900	1,10	1,30	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
1000	1,17	1,40	1,85	2,07	2,30	2,50	2,73	2,94	3,16
1100	1,25	1,50	1,98	2,23	2,47	2,70	2,94	3,17	3,40
1160	1,30	1,55	2,06	2,32	2,57	2,82	3,06	3,30	3,55
1200	1,32	1,60	2,12	2,38	2,63	2,90	3,15	3,40	3,65
1300	1,40	1,68	2,24	2,52	2,80	3,07	3,35	3,62	3,90
1400	1,46	1,77	2,37	2,66	2,96	3,25	3,54	3,83	4,10
1500	1,53	1,85	2,50	2,80	3,20	3,42	3,73	4,03	4,34
1600	1,60	1,93	2,60	2,93	3,26	3,60	3,90	4,23	4,55
1700	1,65	2,00	2,70	3,06	3,40	3,75	4,10	4,43	4,76
1750	1,67	2,04	2,77	3,13	3,48	3,83	4,18	4,52	4,86
1800	1,70	2,08	2,80	3,20	3,55	3,90	4,26	4,60	4,96
1900	1,75	2,15	2,93	3,30	3,70	4,06	4,43	4,80	5,16
2000	1,80	2,22	3,03	3,42	3,82	4,20	4,60	4,97	5,34

Figura 15: Revoluciones del motor y diámetro de polea motriz.

Fuente: (INTERMEC, pág. 38).

Como se puede observar se obtendrá una potencia de 2,77HP por cada cana, la cual es inferior a la potencia de diseño, por lo que se procederá a multiplicar por 2 este valor dando como resultado 5,54HP.

En consecuencia se necesita una polea motriz de 2 canales.

- **Distancia entre centros**

$$C \text{ máx} = 2 * (200\text{mm} + 100\text{mm}) = 600\text{mm}$$

$$C \text{ mín} = 0,7 * (200\text{mm} + 100\text{mm}) = 210\text{mm}$$

- **Selección de la chaveta.**

De acuerdo a los cálculos realizados en el diseño del eje principal se seleccionará la chaveta y chavetero que se señala a continuación en la siguiente tabla la cual es para chavetas de sección cuadrada:

Tabla de chaveta y chavetero estándar en pulgadas de sección cuadrada

Diámetro del eje (pulg)	Anchura y profundidad del cuñero (pulg)	Cuña de sección cuadrada (pulg)	Diámetro del prisionero (pulg)
1/2 a 5/8	1/8 x 1/16	1/8 x 1/8	3/16
5/8 a 7/8	3/16 x 3/32	3/16 x 3/16	3/16
7/8 a 1-1/4	1/4 x 1/8	1/4 x 1/4	1/4
1-1/4 a 1-3/8	5/16 x 5/32	5/16 x 5/16	5/16
1-3/8 a 1-3/4	3/8 x 3/16	3/8 x 3/8	3/8
1-3/4 a 2-1/4	1/2 x 1/4	1/2 x 1/2	1/2
2-1/4 a 2-3/4	5/8 x 5/16	5/8 x 5/8	5/8
2-3/4 a 3-1/4	3/4 x 3/8	3/4 x 3/4	5/8
3-1/4 a 3-3/4	7/8 x 7/16	7/8 x 7/8	3/4
3-3/4 a 4-1/2	1 x 1/2	1 x 1	3/4
4-1/2 a 5-1/2	1-1/4 x 5/8	1-1/4 x 1-1/4	7/8
5-1/2 a 6-1/2	1-1/2 x 3/4	1-1/2 x 1-1/2	1
6-1/2 a 7-1/2	1-3/4 x 7/8	1-3/4 x 1-3/4	1-1/4
7-1/2 a 9	2 x 1	2 x 2	1-1/4
9 a 11	2-1/2 x 1-1/4	2-1/2 x 2-1/2	1-1/4

Figura 16: Selección de la chaveta para eje de 2".

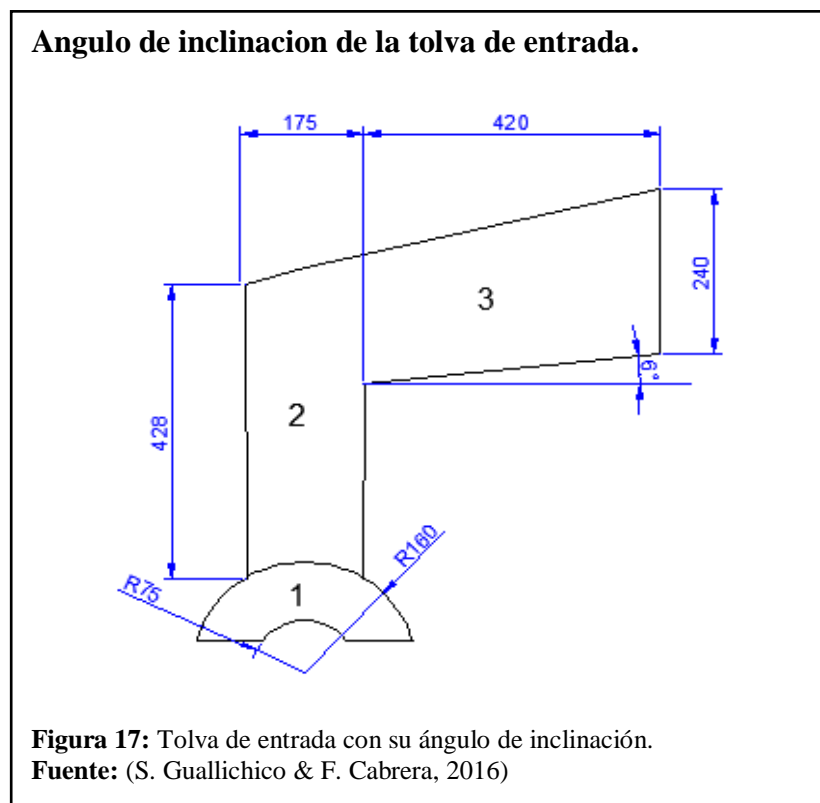
Fuente: (INTERMEC, pág. 40)

2.8. Diseño de la tolva de entrada

El factor más importante a considerar en la tolva de entrada es el ángulo de inclinación, el cual depende del factor de fricción dinámico, entre el acero y el hueso de res calcinado que es alrededor de 0,1 (Bermeo Martínez, pág. 3).

El material de la tolva será de acero ASTM A36 con un espesor de 3mm.

$$\theta = \tan^{-1}(0,1) = 5,72^\circ \approx 6^\circ$$



La carga que va a soportar la tolva de entrada es la del peso de los huesos de res calcinado que se alojaran en el volumen útil de la misma.

$$V1 = \left[\frac{\pi * (16cm)^2 - \pi * (7,5cm)^2}{2} \right] * 30cm = 9413cm^3$$

$$V2 = 42,8cm * 17,5cm * 24cm = 17976cm^3$$

$$V3 = 42cm * 24cm * 24cm = 24192cm^3$$

La densidad del hueso de res calcinado se determinó, experimentalmente, en los laboratorios de la universidad, dando como resultado una fuerza de corte de 6,33 kg aplicada a una probeta con medidas de: $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 3\text{cm} = 48\text{cm}^3$.

Ensayos de hueso de res a distintos diámetros.

<i>Ensayo con probetas</i>							
<i>Muestra</i>	<i>Øi (mm)</i>	<i>Øe (mm)</i>	<i>h (mm)</i>	<i>A (mm²)</i>	<i>Peso inicial (kg)</i>	<i>Peso final (kg)</i>	<i>Carga (Tnf)</i>
R1	31,8	37,2	66,6	292,6	0,038	0,034	1,272
R2	35,8	42,0	71,6	378,8	0,054	0,048	1,269
R3	31,9	38,0	44,3	334,9	0,032	0,028	2,143
R4	30,8	38,2	70,6	401,0	0,056	0,048	1,932
R5	27,7	38,0	42,2	531,5	0,042	0,038	1,962
R6	31,2	37,0	79,0	310,7	0,048	0,044	0,947
R7	31,4	38,0	65,7	359,7	0,048	0,042	1,949
R8	29,0	35,0	62,9	301,6	0,038	0,036	1,440
R9	31,8	39,0	65,3	400,4	0,054	0,048	1,635
R10	31,0	38,0	61,2	379,3	0,048	0,042	1,442
R11	32,1	42,0	46,6	576,2	0,076	0,066	2,291
R12	33,6	41,0	38,3	433,6	0,040	0,034	1,413
R13	30,0	37,0	50,8	368,4	0,038	0,036	1,531
R14	32,8	42,0	46,6	540,5	0,05	0,046	2,363
R15	32,8	40,0	60,0	411,7	0,048	0,042	0,810

Figura 18. Tabla de resultados de huesos.

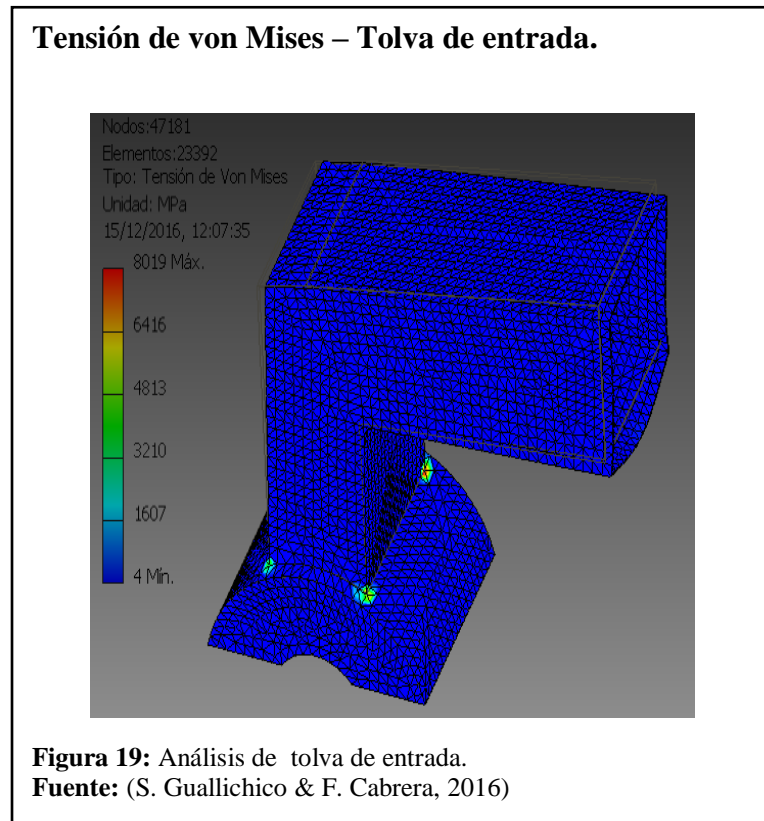
Fuente: M. Loor y W. Mera (2016)

$$VT = 9413\text{cm}^3 + 17976\text{cm}^3 + 24192\text{cm}^3 = 51581\text{cm}^3$$

$$Wc = \delta h * VT = 0,132 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} * 51581\text{cm}^3 = 6809\text{kgf} = 66728\text{N}$$

2.8.1. Análisis de elementos finitos de la tolva de entrada.

- Tensión de von Mises



Como se puede observar en la figura anterior la tensión de von Mises está dentro de los rangos admisibles es decir no llega a sus valores más altos, por lo tanto no habrá una deformación permanente en la tolva de entrada; sin embargo hay que tener un poco de precaución al soldar el área circular con la rectangular, porque en esos puntos es donde más se concentra la carga.

2.9. Diseño del bastidor

En el bastidor o cuerpo del molino se instalarán todos los elementos del mecanismo como el sistema de trituración y las chumaceras por lo tanto el peso que soporta el mismo es el de las reacciones en el eje principal.

Se seleccionara las medidas del bastidor de acuerdo al número de elementos que serán alojados en el mismo como (martillos, camisas, discos porta martillos, etc.) dando como resultado de: Largo=290mm; Ancho=295mm; Altura=605mm.

Diseño del bastidor.

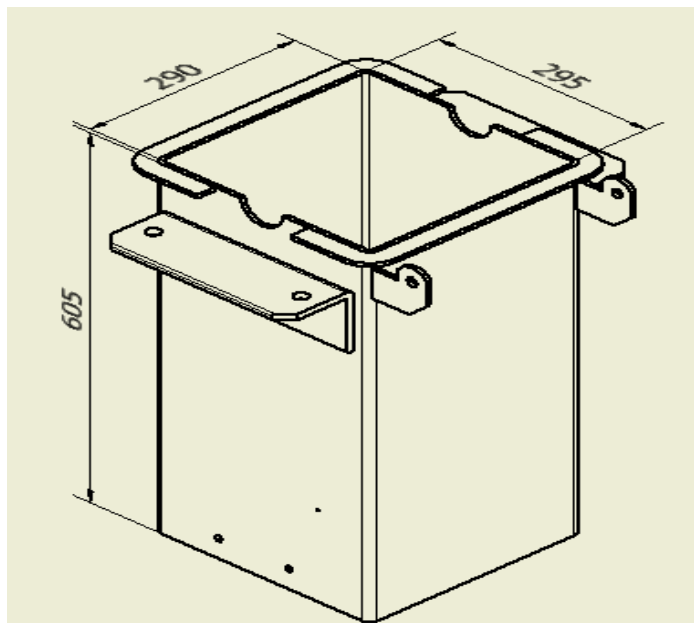


Figura 20: Bastidor de acuerdo al número de elementos.
Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

Para realizar un análisis finito es necesario considerar los pesos de los elementos.

Tabla 4. Tabla de pesos que soporta el bastidor.

Elemento	Peso (N)	Cantidad	Peso total (N)
Eje principal	86,24	1	86,24
Eje porta martillos	3,92	3	11,76
Martillos	1,96	24	47,04
Camisas	0,53	42	22,26
Chumaceras	43,34	2	86,68
Otros	8	1	8
Total			261,98

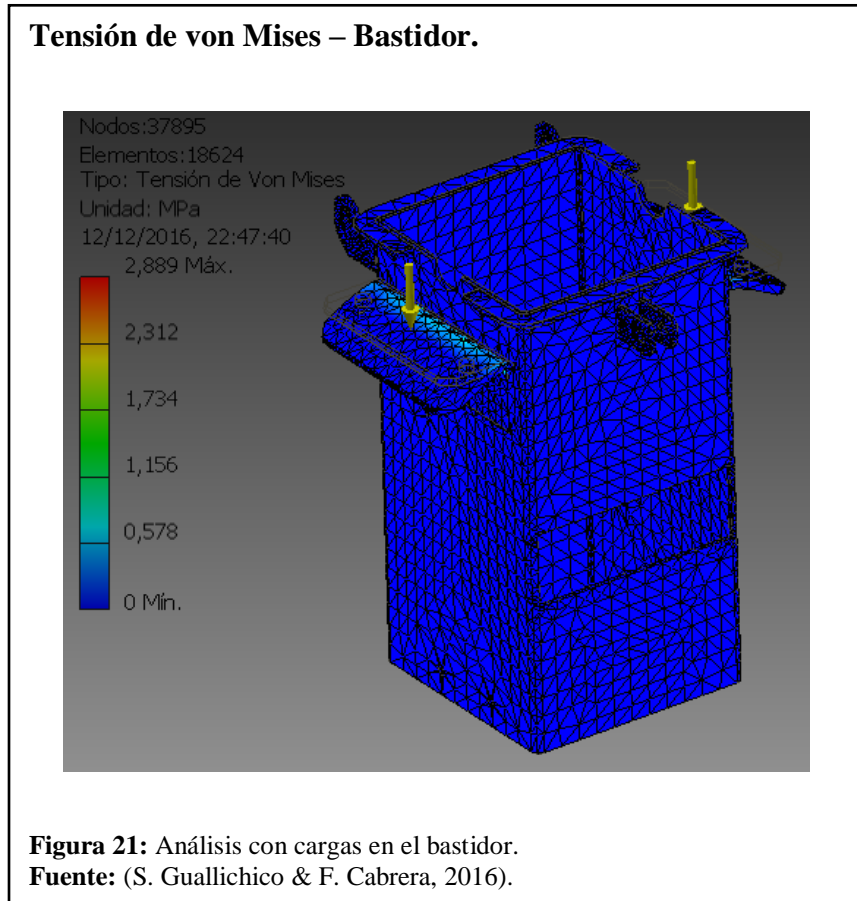
Nota: Todos los elementos detallados en la tabla van a estar distribuidos homogéneamente sobre el eje principal.

Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

De acuerdo a la tabla se determina el peso que va a soportar el eje principal el cual es el peso total de 261,98N; se distribuirán en 2 cargas puntuales de 130,99N cada una.

2.9.1. Análisis de elementos finitos del bastidor.

- Tensión de von Mises.



Como se puede observar en la figura anterior la tensión de von Mises está dentro de los rangos admisibles es decir no llega a valores extremos, por lo tanto no habrá una deformación permanente en el bastidor.

2.10. Diseño de la base del molino

La base del molino es la parte que va a soportar todas las cargas que actúan en el mismo, por tal razón se seleccionarán materiales lo bastante resistentes a cargas

fluctuantes, fijas y a vibraciones por efectos del motor, tales como: ángulo de 65x65x6mm y tubo cuadrado de 60x60x6mm.

Para realizar un análisis finito de la base se considera para esto todos los pesos y cargas que actúan sobre la misma.

Tabla 5. Tabla de pesos y cargas que va a soportar la base del molino

Elemento	Peso/Carga (N)	Cantidad	Peso/Carga total (N)
Tolva de entrada	198,35	1	198,35
Hueso de res calcinado	66728	1	66728
Bastidor	41570	1	41570
Eje principal	86,24	1	86,24
Eje porta martillos	3,92	3	11,76
Martillos	1,96	24	47,04
Camisas	0,53	42	22,26
Chumaceras	43,34	2	86,68
Camisas	0,53	42	22,26
Otros	100	1	100
Total			108872,59

Nota: Todos los elementos detallados en la tabla van a estar distribuidos homogéneamente en los 4 puntos de la base donde se anclara el bastidor.

Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

El peso total de 108872,59N; se distribuirán en 4 cargas puntuales de 27218,15N cada una.

2.11. Análisis de elementos finitos de la base del molino

- Tensión de von Mises.

Tensión de von Mises – Base del molino.

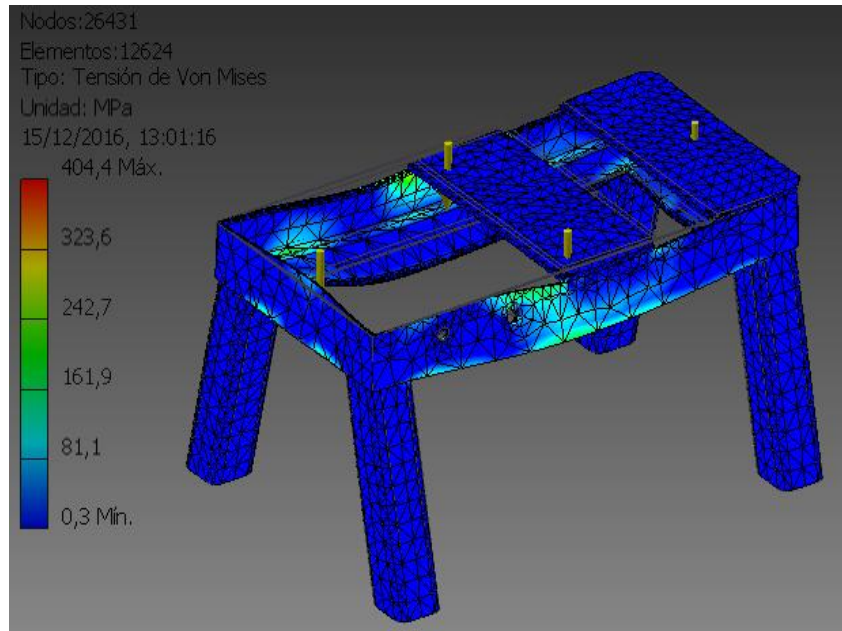


Figura 22: Análisis de cargas en la base del molino.

Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

Como se puede observar en la figura anterior la tensión de von Mises está dentro de los rangos admisibles es decir no llega a sus valores máximos, por lo tanto no habrá una deformación permanente en la base del molino.

2.12. Diseño del bastidor.

En el bastidor o cuerpo del molino se instalaran todos los elementos del mecanismo como el sistema de trituración y las chumaceras por lo tanto el peso que soporta el mismo es el de las reacciones en el eje principal.

2.13. Análisis de resultados y estadístico de la molienda.

2.13.1. Tabla general

Tabla 6. Parámetros estadísticos.

	Peso inicial	Volumen de masa inicial	Temperatura de calcinación	Tiempo de calcinación (Tc)	Tiempo de trituración (Tr)	Volumen de masa final	Peso final
Muestra 1	1,9kg	6870,66 cm ³	320°C	45min	4min	2290,2 cm ³	1,9kg
Muestra 2	2kg	6870,66 cm ³	410°C	35min	3min, 34seg	2003,9 cm ³	2kg
Muestra 3	2,1kg	6870,66 cm ³	500°C	45min	4min, 30seg	2862,7 cm ³	2,1kg

Nota: Estos son los valores a considerar para iniciar el análisis estadístico que se muestra a continuación.

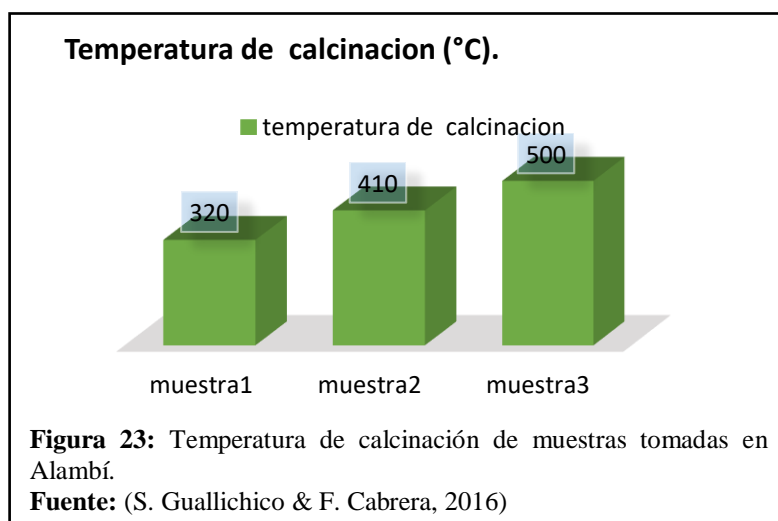
Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

-Muestra 1: Fue expuesta a una temperatura de 320 °C, con un peso de 1,9 kg con el mismo volumen que las demás muestras, pero se observó que después de la trituración el volumen en comparación a la muestra 2 y 3 era mediano debido que su tiempo de trituración fue de 4 min y el Tc era similar al de la muestra 3.

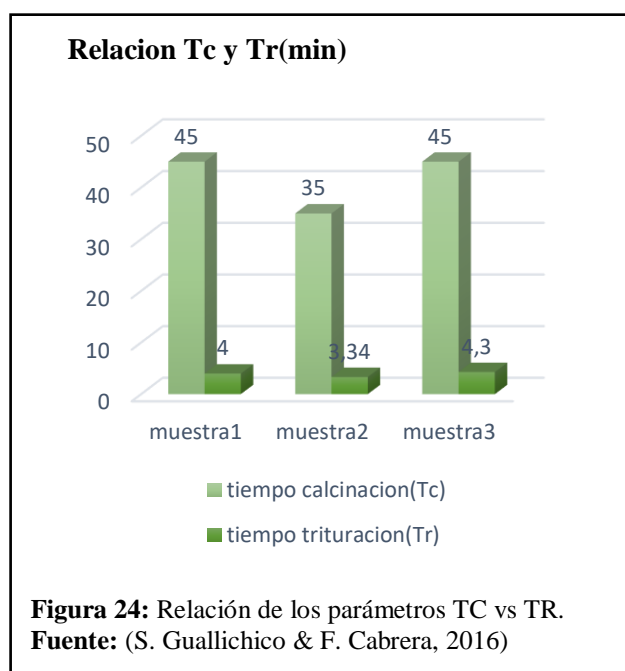
-Muestra 2: Fue expuesta a una temperatura de 410 grados centígrados 90 grados más que la muestra 2 con un peso de 0,1kg mas que la muestra 1 similar volumen que las demás pero con un tiempo de calcinación menor que las de las muestras 1 y 3 el resultado fue un volumen menor al de las demás muestras.

-Muestra 3: Fue expuesta a una temperatura de 500 grados centígrados 180 grados más que la primera muestra y un tiempo de trituración mayor en casi un minuto de

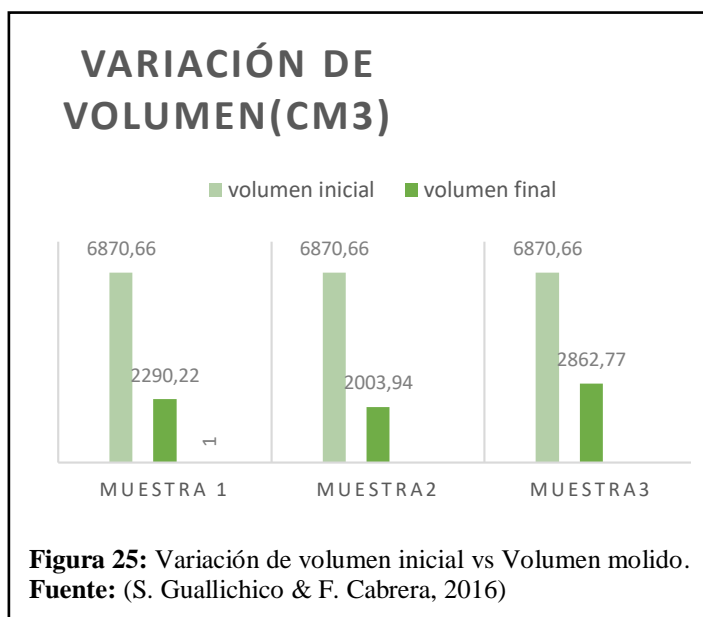
diferencia al de la 2da muestra como resultado se obtuvo un volumen mayor al de las demás muestras.



La temperatura fue la primera variable a modificar, fueron expuestas a un incremento de 90 grados centígrados extras en cada muestra dando así que la mayor temperatura fue de 500 grados 180 en comparación a la primera otorgando así una mayor posibilidad a que lleguen a su punto de descomposición, no completo sino parcial, para después pasar a triturarlos y obtener un volumen final.



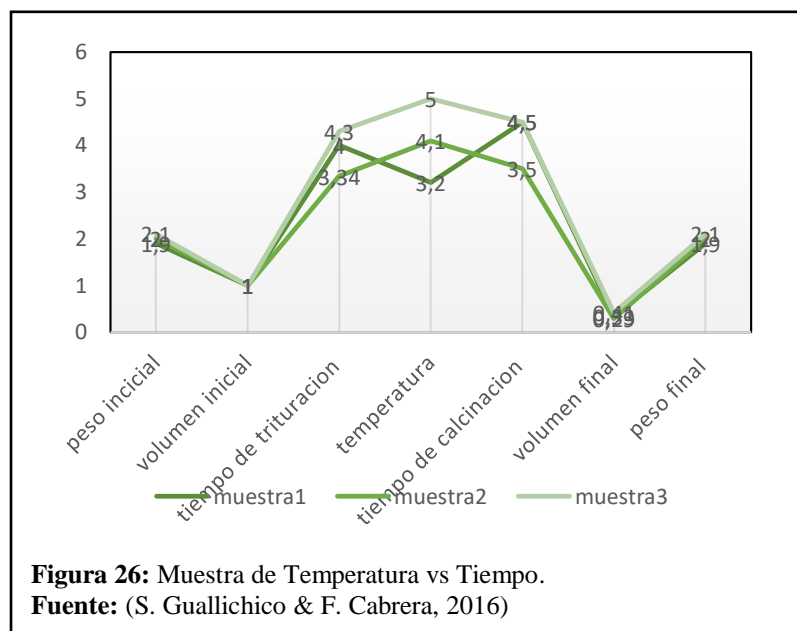
El tiempo de calcinación y trituración dependían principalmente del peso y fue modificado en cuanto a mayor peso un mayor tiempo de trituración pero no obstante no fue igual que el tiempo de calcinación ya que este fue una variable que se dio al azar para poder calcular al volumen final con diferentes resultados y así tener datos más precisos en cuanto a los factores que afectan el resultado del volumen final.



La variación de volumen es notoria en cada muestra, dando así un claro ejemplo, de que los anteriores factores ya nombrados, causan una alteración en el resultado ya que el tiempo y la temperatura logran que las moléculas que forman el hueso logran ocupar un menor espacio en relación a su estado inicial pero aun así exponerlas a una temperatura muy elevada y a un tiempo de trituración igualmente elevado a su punto ideal, causan que el mismo ocupe más volumen.

Así se puede recalcar que las muestras comenzaron y terminaron con la misma masa o peso. El volumen inicial para las 3 muestras fue el mismo, el tiempo de trituración fue gradualmente aumentado con la masa al igual que la temperatura, el tiempo de

calcinación fue una variable comprendida entre los 35 y 45 minutos para determinar la consecuencia de su alteración.



El volumen final es el resultado que se obtiene de modificar las variables cuantitativas así como la temperatura de calcinación y el tiempo del mismo por lo cual se observa notablemente que la muestra 3 en comparación a las demás fue la que mayor volumen obtuvo al calcinarse a 500 grados centígrados y un tiempo de trituración de 4min/34seg.

En conclusión, se deduce que como las muestras estaban compuestas por huesos bovinos y la parte sólida de los mismos están compuestos por materia inorgánica (60%) y materia orgánica (40%) en su mayor parte por calcio, y este contiene una densidad de 1.55 gr/cm^3 es notable que, con un mayor tiempo de trituración y una exposición a una mayor temperatura de calcinación causan que el volumen aumente gradualmente.

- **¿Qué pasa con la dureza?**

La dureza se reduce, ya que al momento de calcinar el hueso se vuelve más frágil, lo cual nos permite moler con mucha más facilidad el mismo.

- **¿Qué es primordial para la molienda?**

Lo primordial es obtener el tamaño de grano y para llegar al mismo se tiene un tamiz.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE COSTOS Y MANUAL DE MANTENIMIENTO

En el presente capítulo se realizarán los análisis de costos así como el manual de utilización como el de mantenimiento, también se dará pasos a seguir para un correcto funcionamiento del equipo y los costos tanto de materia prima como de elementos normalizados, con los cuales se llegará al valor real que costaría el equipo de molienda para hueso calcinado de res.

3.1. Análisis de costo

Este capítulo se realizara el desarrollo de los costos que conlleva el diseño, construcción y ensamble del “MOLINO DE MARTILLOS PARA HUESO CALCINADO”. El objetivo es analizar, uno por uno, los parámetros para determinar con exactitud el valor de cada material para la construcción de las diferentes piezas que forman la máquina.

Para el estudio de costos directos se tiene costos parciales que son:

- Materia prima
- Costo de mecanizado de partes de la máquina.
- Costo de mano de obra.

Para el estudio de costos parciales indirectos que son:

- Costo de ingeniería.
- Gastos provisionales.
- Costos de materia prima

Materia prima es el material que se utiliza para la fabricación de cada uno de los elementos que consta la máquina.

En la siguiente tabla se detallará cada uno de los materiales para la construcción del molino de martillos para hueso calcinado.

Tabla 7. Costo de materia prima para la construcción de la máquina

Item	Descripción	Cant.	Unidad.	Costo unitario (USD)	Costo total(USD)
1	Plancha acero al carbono 605x1228x6mm	35,0	Kg	1,95	68,24
2	Plancha acero al carbono 1220x2440x3mm	70,1	Kg	1,95	136,70
3	Plancha acero al carbono 700x300x10mm	16,5	Kg	1,95	32,15
4	Eje de acero transmisión $\varnothing 60 \times 600$ mm	13,3	Kg	1,75	23,31
5	Eje de acero transmisión $\varnothing 5/8" \times 1200$ mm	0,6	Kg	1,75	1,06
6	Tubo Cuadrado 60x60x3mm	1,5	m	3,5	5,25
7	Angulo 65x65x6mm	2,0	m	3	6,00
8	Plancha perforada inox $\varnothing 5$ mm 500x300x3mm	3,5	Kg	7,35	25,96
9	Tubo redondo $\varnothing 2 1/4" \times 500$ mm	0,5	m	3	1,50
10	Tubo redondo $\varnothing 3/4" \times 300$ mm	0,3	m	2,5	0,75
11	Plancha acero K110 40x350x8mm	0,9	Kg	6,84	6,01
				SUB TOTAL	306,92
				IVA 14%	42,97
				TOTAL	349,89

Nota: En esta tabla se detalla uno por uno los costos de la materia prima con la que está construido el molino de martillos.

Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

3.2. Costos de elementos normalizados

Estos costos se refieren a elementos que son seleccionados mediante catálogos, medidas y características de normalización.

Tabla 8. Costos de elementos normalizados

Item	Descripción	Cant.	Unidades	Costo unitario (USD)	Costo total(USD)
1	Chumacera piso 6N511 2"	2	U	15,3	30,6
2	Perno cabeza hexagonal M10 x 3/4"	4	U	0,5	2
3	Perno 3/8" x 1 1/2", arandela plana, tuerca	4	U	0,25	1
4	Perno 1/2" x 2", arandela plana, tuerca	4	U	0,35	1,4
5	Tuercas 5/8", arandela presión	6	U	0,15	0,9
6	Correa tipo V A58	2	U	4,75	9,5
7	Motor Eléctrico WEG 2HP /1800 rpm	1	U	165	165
8	Polea 4" doble canal tipo V	1	U	7,75	7,75
9	Polea 10" doble canal tipo V	1	U	18	18
10	Relé térmico LS 12-18A	1	U	28,95	28,95
11	Cable Flexible #18	15	Metros	0,22	3,3
12	Fase fusible 10x38/CSC	1	U	2,46	2,46
13	Fusible 10x38 2A	2	U	1,44	2,88
14	Amarras plásticas 10mm	10	U	0,1	1
15	Pulsador hongo retenido CSC	10	U	3,52	35,2
16	Contactador GMC19 220V	1	U	28,52	28,52
17	Cooper toma bifásico 220v 20A	1	U	8,85	8,85
18	Luz Piloto led verde	1	U	1,48	1,48
19	Caja chapa 40x30x15	1	U	22,3	22,3
20	Cable Flexible #12	12	Metros	0,25	3
				SUB TOTAL	374,09
				IVA 14%	52,37
				TOTAL	426,46

Nota: Tabla detalla uno por uno los costos de los elementos normalizados con los que está construido el molino de martillos.

Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

3.3. Tiempo de utilización de las maquinas.

Estos costos se refieren por concepto de utilización de maquinaria y equipos como torno, fresa, plasma, dobladora, taladro, etc.

Tabla 9. Tiempo utilizado por elemento a fabricar

Ítem	Descripción	Cant.	Torno		Fresa		Dobladora		Soldadora		Amoladora		Compresor		Taladro	
			H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T
1	Bastidor	1	0	0	0	0	2	2	2	2	3	3	1	1	0,5	0,5
2	Base	1	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3	Eje principal	1	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eje															
4	secundario	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Separadores															
5	de platos	2	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0
6	Platos	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Martillos	24	0	0	4	4	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2
8	Tolva	1	0	0	0	0	2	2	1	1	1	1	0,5	0,5	0	0
	Tolva salida															
9	de producto	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0,5	0,5	0,25	0,25	0	0
10	Tamiz	1	0	0	0	0	1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0
	Separadores															
11	de martillos	30	2	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
12	Guarda poleas	1	0	0	0	0	1,5	1,5	0,5	0,5	1	1	1	1	0,25	0,25
13	Polea 4"	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Polea	1	1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0
TOTAL DE HORAS				11		6,5		7,5		4,5		8,25		3,75		3,25

Nota: Detalle de cada uno de las partes fabricadas de acuerdo al tiempo y al equipo utilizado para la construcción del molino de martillos.

Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

Donde:

H = Horas.

T = Total de horas.

3.4. Costos de maquinado

Este costo se refiere al valor de mano de obra directa empleada en las máquinas, herramientas, para la fabricación del molino.

Tabla 10. Costo de equipos por hora.

Item	Costo por hora máquina	Tiempo utilizado	Total (USD)
1	10	11	110
2	12	6,5	78
3	8	7,5	60
4	8	4,5	36
5	4	8,25	33
6	4	3,75	15
7	4	3,25	13
SUB TOTAL			345,00
IVA 14%			48,30
TOTAL			393,30

Nota: Detalle del costo por equipo utilizado para la construcción.

Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

3.5. Costos de indirectos

3.5.1. Costos de diseño

Son los costos que se requieren como la planificación de cálculos, la elaboración de planos. Estos son los costos totales que correspondería al 25% del total.

3.5.2. Gastos provisionales

Estos costos que no afectan en la construcción de la máquina ya que no fueron planificados. Estos son insumos de oficina, transporte y cambios en la maquinaria para su correcto funcionamiento. Los costos totales serían del 15%.

3.6. Costo total de la máquina

Tabla 11. Costo total.

COMPONENTE DE COSTOS	Valor (USD)
Costos Directos	
Materia prima	349,89
Costo de mecanizado de partes de la máquina	426,46
Costo de mano de obra	393,30
Costos Indirectos	
Costo de ingeniería	292,41
Gastos provisionales	175,45
COSTO TOTAL DE LA MAQUINA	1637,51

Nota: Detalle del costo total del molino el cual está dividido en costos directos e indirectos.

Fuente: (S. Guallichico & F. Cabrera, 2016)

INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Instrucciones de seguridad.

Como se puede apreciar que la seguridad en un equipo mecánico es primordial, por lo que se pone a consideración en el siguiente manual.

Además de todo esto se pone a consideración los siguientes pasos a seguir para el utilización de dicho mecanismo:

a. Operación de la máquina.

- Verificar visualmente que todos los elementos del mecanismo se encuentren ajustados y en buen estado.
- Evitar la reparación del mecanismo cuando este en movimiento.
- No utilizar ropa inadecuada cuando se manipulara la maquina o con el cabello suelto en caso de tenerlo, ya que puede causar atrapamientos en los mecanismos que giran como pueden ser en el motor, poleas y bandas.
- Utilizar el equipo de seguridad como guantes de operador, antiparras, cofia para cabello, auditivos y mandil.
- Revisar que las partes de la máquina estén en perfecto estado antes de proceder a ponerla en funcionamiento.
- Reconocer los símbolos de advertencia que están ubicados en la máquina.
- Nunca utilizar la máquina sin haber recibido una instrucción de funcionamiento de la equipo.

b. Montaje del cuerpo del mecanismo.

- Colocar el cuerpo del mecanismo por encima de la estructura e identificar los pernos que están ubicados en la parte inferior del molino.
- Ajustar los pernos antes mencionados con las llaves apropiadas.

c. Montaje de la cámara del triturador.

- Identificar las partes principales y secundarias que implementan el eje (martillos, ejes secundarios, platos, separadores de martillos, chumaceras, etc.)
- Colocar las chavetas y platos porta martillos en el eje principal según se muestra en los planos de ensamblaje.
- Alojarse las chumaceras en el eje principal una vez ya estece instalado los platos y chavetas.
- Ajustar los pernos de las chumaceras y las partes de las mismas una vez centrado el mecanismo.
- Orientar los ejes secundarios y en los orificios de los platos.
- Colocare la polea en el eje principal.

d. Montaje del motor.

- Colocar el motor con su polea en la base del mismo.
- Instalar los pernos en el lugar antes mencionado.
- Para poder instalar las correas y una vez tensionarlas para su correcto funcionamiento.

e. Montaje de la tolva.

- Colocar la tolva en y las debidas protecciones para evitar cualquier accidente.
- Insertar los pasadores en la tolva.

f. Modo de utilización

- Una vez revisada e inspeccionada visualmente la máquina, se procede a conectar la misma.
- Presionar el botón ON que se encuentra en el tablero, para lo cual la tolva debe estar cerrada y libre de producto para verificar cualquier problema, que exista en el mecanismo.

g. Alimentación de materia prima

- Cuando la máquina está encendida se procederá a alimentar el producto (hueso Calcinado).
- Alimentar el producto de manera constante mientras está encendida la máquina para lograr la capacidad requerida.
- Una vez realizado el trabajo presionar el botón OFF que se encuentra ubicado en el tablero.

Mantenimiento de la máquina

a. Mantenimiento de correas.

- Inspeccionar visualmente si existen desgastes o mordeduras anormales en las correas, para poder evitar daños en la transmisión.

- Verificar la temperatura de las correas, ya que en las correas siempre existirán temperaturas altas pero no exageradas por el mismo hecho de su trabajo.
- Girar manualmente las correas para observar si están en buen estado el guiamiento de las mismas.
- Las correas deben ser cambiadas se encuentren con mordeduras o una vez culminado su vida útil.

b. Mantenimiento de chumaceras

- Verificar visualmente que estén en buen estado.
- Engrasar rutinariamente se recomienda por lo menos una vez al mes.
- Cambiarlas una vez estén terminen su vida útil.

c. Mantenimiento del motor.

- Limpiar por fuera al motor y verificar las conexiones eléctricas, ya que si estas fallan podría causar daños al mecanismo.

CONCLUSIONES

- A partir del resultado de la prueba, se encontró que la eficiencia de trituración de la máquina es del 94 al 96%.
- La capacidad de molienda y la eficiencia del rendimiento de la máquina son del 90% a 1720 rpm.
- La pérdida es del 4 % está dada, fundamentalmente, por la adherencia de los materiales en polvo a la pared del martillo de trituración.
- Para el diseño del molino de martillos se debe tomar en cuenta la fuerza de 700 kg/cm² que va a hacer necesaria para triturar el hueso de res calcinado a 400 °C, ya que este es el máximo esfuerzo que resistirán los martillos.
- De acuerdo a los cálculos se obtuvo una potencia del motor de 2 hp, con 1720 rpm, el cual es suficiente para romper la inercia del molino.
- Se reduce el tiempo de molido del hueso porque, con anterioridad, se realizaba de forma artesanal y ahora se la realiza de forma industrial lo cual reduce 2 horas de tiempo.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los implementos de seguridad como: Gafas de seguridad, Mascarilla, Orejeras y Guantes.
- Encender el molino antes de cargar con la materia prima, ya que si no se lo hace así el motor no lograra romper la inercia del mecanismo.
- La persona encargada de operar la maquina leer el manual de operación y mantenimiento antes de utilizar el molino.
- Realiza una inspección de la materia prima ya que pueden existir, objetos ajenos al producto (metal) y eso puedo ocasionar damos al molino de martillos.
- Hacer una limpieza del molino después de cada jornada de trabajo, ya que el molino ocasiona mucho polvo y el cual puede remorder al motor o las chumaceras.

Bibliografía

- Bermeo Martínez, D. C. (s.f.). *repositorio.espe.edu.ec*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2016, de repositorio.espe.edu.ec: repositorio.espe.edu.ec
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. México DF: The McGrawHill.
- César Pleguezuelos, D. (18 de Junio de 2013). *repositorio.upct.es*. Obtenido de repositorio.upct.es:
<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3356/pfc5100.pdf;jsessionid=654A4310061F03813D12C357CEC285F2?sequence=1>
- Chuanzhong. Xuan, e. a. (2012). *Development on a Hammer Mill with Separate Sieving*. School of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University. Vol.10, No.6.
- Cuadrado Moncayo, I., & Rueda Castillo, J. (12 de Mayo de 2009). *Diseño y construcción de un molino de martillos*. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Universidad San Francisco de Quito, Quito. Recuperado el 28 de Febrero de 2016, de repositorio.usfq.edu.ec:
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1126/1/91259.pdf>
- Dureza del hueso en la escala de Mohs*. (13 de Enero de 2011). Recuperado el 18 de Septiembre de 2016, de <https://huesotrabajado.wordpress.com/>:
<https://huesotrabajado.wordpress.com/2011/01/13/%C2%BFcual-es-la-dureza-del-hueso-en-la-escala-de-mohs-bone-mohs/>
- Getty, R. (1999). *Anatomía de los animales domesticos*. Florencia: Masson.
- Guayllas Poma, L., & Montero Vargas, J. (2012). *Diseño y construcción de un molino de martillos con tamiz intercambiable, para pulverizar yeso crudo*. Escuela Superior Politecnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba.
- <https://www.unad.edu.co/>. (Julio de 2016). *datateca.unad.edu.co*. Obtenido de datateca.unad.edu.co:
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccin_19_molinos_de_rodillos.html
- Industrias Piñero SRL. (30 de Diciembre de 2010). *industriaspinerossrl*. Obtenido de [industriaspinerossrl](http://www.industriaspinerossrl.com.ar): <http://www.industriaspinerossrl.com.ar/fotos-2/fotos-de-proceso/attachment/molino-2/>
- INTERMEC. (s.f.). *lab.transmitec.com*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de lab.transmitec.com:
<http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manua-poleas-en-v-intermec.pdf>

- Loor Jara , M., & Mera Oña, W. F. (29 de Agosto de 2016). *Repositorio Digital UPS*.
Obtenido de Repositorio Digital UPS:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13138>
- Mc Cabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2002). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. México, D.F: McGraw-Hill.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico.
- Nasir, A. (2005). *Development and Testing of a Hammer Mill*. Monografía, Federal University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Niger State, Nigeria.
- Ramos Carrillo, N. F. (2010). *Aprovechamiento del desecho de hueso de res para la obtención de harina de hueso en la fábrica Federer*. Proyecto de Tesis, Escuela Politecnica Nacional, Quito.
- Rodriguez Sandoval, R. (1994). *Agricultura sostenible inventario tecnológico*. Venezuela: IICA Biblioteca Venezuela.
- Sánchez Reyes , C. (2003). *Abonos Organicos y Lombricultura* . Lima: Ediciones Ripalme.
- Spolt, M. (1988). *Design of Machines Element*. New Delhi, India: 6th ed. Prentice Hall.
- Través Soler, G. (1962). *Abonos*. Barcelona: Síntesis, España.
- Universidad de Buenos Aires. (1 de Mayo de 2015). *materias.fi.uba.ar*. doi:72.02-92.02
- Universidad de San Francisco de quito. (2009). *Diseño y construcción de un molino de martillos*.